This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

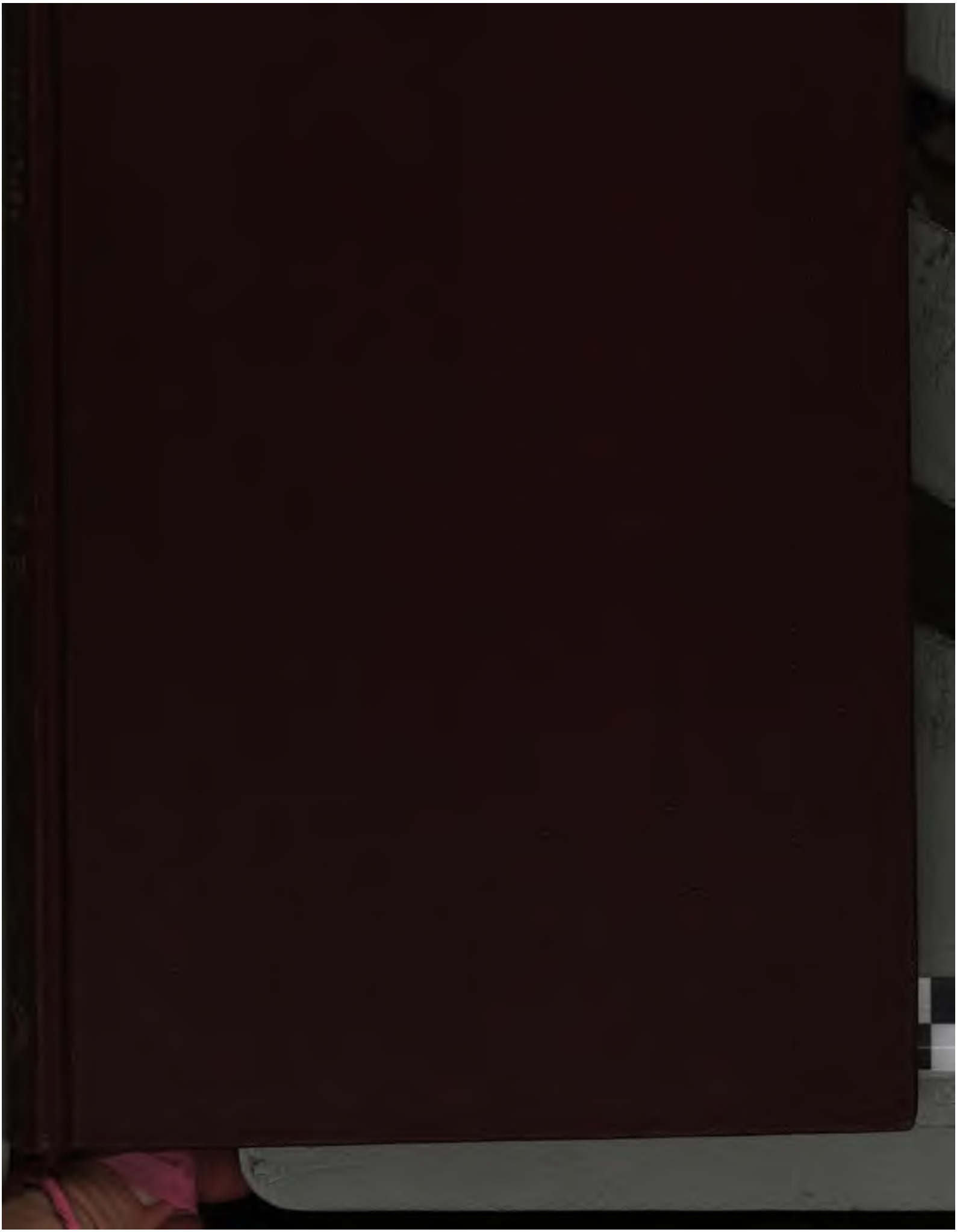
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

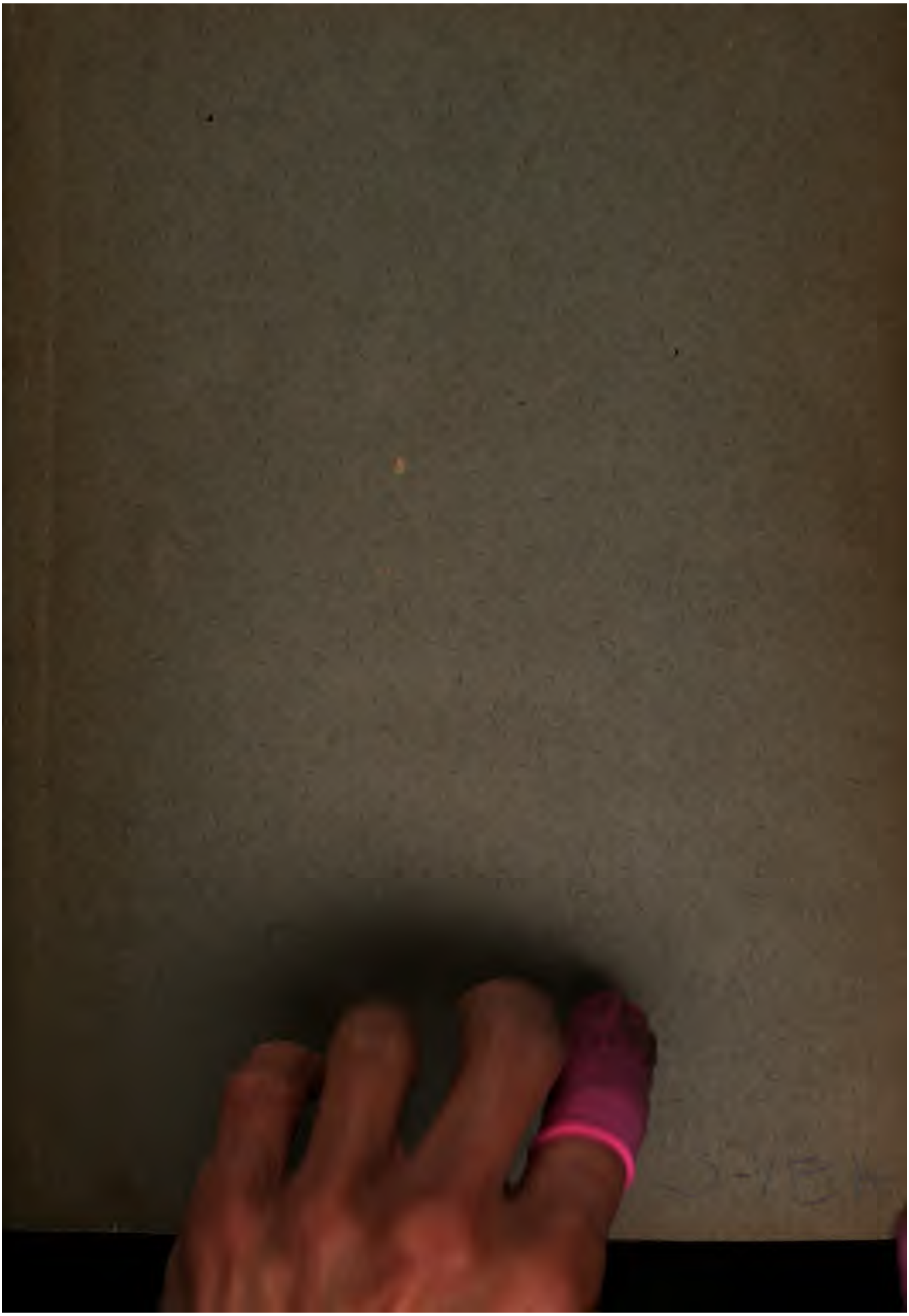
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.





Innern, Min. des

INDEXED

228236

150

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft I. 1899.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS.

Bericht

über die

Raumbeständigkeit von zehn Portlandcementen

nach Versuchen der Königl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt
und
der Kommission des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten

erstattet von

M. Gary,
Vorsteher der Abtheilung für Baumaterialprüfung.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Tafeln in Lichtdruck.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1899.

VA

Von den

Mittheilungen

aus den

Königlichen technischen Versuchsanstalten

zu Berlin

herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission

Jährlich 6—8 Hefte

liegen vollständig vor:

Erster bis siebenter Jahrgang. 1883 bis 1889.
Jeder Jahrgang in 4 Heften mit Tafeln und Textabbildungen.
Preis für den Jahrgang M. 10,—.

Achter bis sechzehnter Jahrgang. 1890 bis 1898.
Jeder Jahrgang in 6 Heften mit Tafeln und Textabbildungen.
Preis für den Jahrgang M. 12,—.

Vierzehnter Jahrgang. 1896. — Mit 12 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. Heft. Bekanntmachung. — **Prof. Martens.** Ergebnisse der Untersuchungen von zersprungenen eisernen Flaschen für die Aufbewahrung von Wasserstoffgas. — **Herzberg.** Vorbereitung von Papier für mikroskopische Zwecke. — **Herzberg.** Erfahrungen einer Reihe von Behörden mit den aus dem Publikum eingehenden Schriftstücken. — **Herzberg.** Löschpapiere. — **Gary.** Ueber Ziegelprüfung. — **Dr. Holde.** Die Verseifbarkeit und die Verseifungszahl flüssiger Fette. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a. Papierprüfung in Frankreich. b. Japanisches Papier. c. Holzschliffknötchen.

2. Heft. **Prof. Martens.** Untersuchung über den Einfluß des Hitzegrades beim Auswalzen auf die Festigkeitseigenschaften und das mikroskopische Gefüge von Flußeisenschienen. — **Gary.** Vergleichende Untersuchungen mit preußischen Normalsanden von Freienwalde. — **Dr. Holde.** Veränderungen des Erstarrungsvermögens von Mineralölen. — **Dr. Holde u. Schwarz.** Der Einfluß des Ringbrenners auf die Erwärmung des Oeles beim Engler'schen Apparat. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: d. Kopirseidenpapiere. e. Festigkeit des Papiers. f. Beanstandete Lieferungen. — **Herzberg.** Normalpapiere.

3. Heft. **Prof. Martens.** Ueber den Einfluß der Körperform auf die Ergebnisse von Druckversuchen. — **Prof. Rudeloff.** Ueber unsachgemäße Ausführung von Zerreiß- und Biegeproben. — **Gary.** Die Geräthe und Verfahren für die Prüfung von Portland-Cement in der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt. — Frühere Jahrgänge der „Mittheilungen."

4. Heft. **Gary.** Traßprüfung. — **Dr. Holde.** Die quantitative Bestimmung des Paraffins in den hochsiedenden Destillationsprodukten des Rohpetroleums. — **Rasch.** Eisen-Nickel-Legirungen. — **Dr. Holde.** Neuere Erfahrungen in der Oelprüfung. — **Herzberg.** Normalpapierpreise.

5. u. 6. Heft. Bekanntmachung. — Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1895/96. — **Gary.** Cementuntersuchungen aus den Berichtsjahren 1893/94 bis 1895/96. — **Gary.** Sand- und Cementsiebe. — **Herzberg.** Verschiedene Mahlungszustände von Papierfasern. — **Herzberg.** Ueber die Veränderung der Leimung im Papier unter dem Einfluß von Sonnenlicht. — **Pelgry.** Der Wallersche Jodüberträger zur Bestimmung der Hüblschen Jodzahl.

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft I. 1899.

Bericht

über die

Raumbeständigkeit von zehn Portlandcementen

nach Versuchen der Königl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt
und
der Kommission des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten

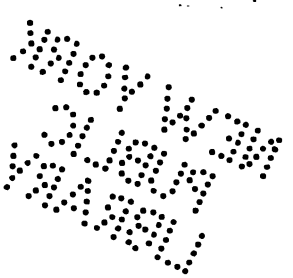
erstattet von

M. Gary,
Vorsteher der Abtheilung für Baumaterialprüfung.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Tafeln in Lichtdruck.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1899.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
228226
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R 1901 L.



I. Veranlassung zu den Versuchen.

In seiner Sitzung vom 28. Februar 1891 hat der Verein Deutscher Portlandcement-Fabrikanten folgende Meinungsäußerung kundgegeben [1]).

1. Die Probe der Normen auf Raumbeständigkeit des Portlandcementes ist bei sorgfältiger Ausführung hinreichend scharf und völlig genügend für praktische Zwecke.
2. Die bis jetzt bekannten beschleunigten Proben zum Erkennen der Nicht-Raumbeständigkeit des Portlandcementes: Kochprobe, Glühprobe, Darrprobe u. s. w. sind nicht geeignet, dem Konsumenten ein sicheres Urtheil über den Cement zu gestatten, weil es vorkommt, daß Portlandcemente, welche die beschleunigten Proben nicht bestehen, sich bei der Verwendung als durchaus raumbeständig erweisen.

Dem gegenüber ist von den Herren v. Tetmajer, Bauschinger, Dr. Michaelis und zuletzt von Herrn C. Prüßing behauptet worden, daß die Normenproben zur Beurtheilung eines Cementes ungenügend seien, besonders dann, wenn der Cement bei der praktischen Verwendung an der Luft erhärten soll.

Herr C. Prüßing stellte in der Generalversammlung des Vereins Deutscher Portlandcement-Fabrikanten vom 24. Februar 1894 im Anschluß an einen längeren Vortrag über „die normengemäße Prüfung und andere in den letzten Jahren vorgeschlagene Prüfungsmethoden der Portlandcemente" folgende Thesen auf:

1. Die Normenprobe auf Raumbeständigkeit des Cementes ist nicht mehr als genügend zu betrachten. Den Konsumenten ist keine ausreichende Sicherheit geboten, daß Cemente, welche lediglich auf Grund der heutigen Normen geprüft und für gut befunden worden sind, auch wirklich in jeder heute üblichen Weise verarbeitet und verwendet werden können.
2. Zwei Preßkuchenproben, welche sich nach 27tägiger Erhärtung des einen in kaltem, des anderen in heißem Wasser von + 90 C° als steinhart, vollständig unverbogen und rißfrei erwiesen haben, bieten vollkommene Sicherheit, daß der zu ihnen ver-

[1]) Vergl. Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten 1893, Seite 50.

wendete Cement in Bezug auf Raumbeständigkeit allen gerechtfertigten Ansprüchen genügen wird.

3. Es ist wünschenswerth, daß als beschleunigte Prüfung auf Raumbeständigkeit die Preßkuchenprobe, welche 24 Stunden an der Luft erhärten, dann 2 Stunden unter kaltes und 24 Stunden in heißes Wasser von + 90 C° gelegt werden soll, in die Normen aufgenommen werde.
4. Als langsambindende Cemente dürfen nur solche bezeichnet werden, welche sich mindestens zwei Stunden lang nach dem Anmachen des Mörtels bei Normaltemperatur und Normalmörtelkonsistenz vollständig indifferent verhalten, also den Abbindeproceß vorher nicht anfangen.
5. Es ist nicht recht, einen langsambindenden Cement deshalb als verdächtig zu erklären, weil er beim Abbindeproceß eine merkliche Temperaturerhöhung zeigt, denn es giebt eine Menge ausgezeichneter, langsambindender Cemente, welche den Abbindeproceß erst nach fünf bis sechs Stunden beginnen und in einer Stunde darauf vollständig beenden, in welcher Zeit sich dann häufig eine Wärmeerhöhung von 5 bis 7 C° zeigt. Solche Cemente sind aber, vorausgesetzt, daß sie die Preßkuchenprobe aushalten, meistens besser als andere, welche den Abbindeproceß nach $^1/_2$ bis 1 Stunde beginnen und in 7 Stunden beendet haben, welche aber bei der Langsamkeit des Abbindeprocesses keine Wärmeerhöhung aufweisen.
6. Es ist unrichtig, die Qualität eines Portlandcementes nach der 28tägigen, in kaltem Wasser erhärteten Zugprobe allein zu bemessen, dieselbe sollte nach den Resultaten der Druckprobe, und zwar der unter kaltem Wasser erhärteten nach 7 oder 14 Tagen und 28 Tagen, bemessen werden.

Diese Thesen gaben dem Verein Veranlassung, eine Kommission mit der Beantwortung folgender Frage zu betrauen:

Gestattet die Normenprobe auf Raumbeständigkeit des Portlandcementes ein richtiges Urtheil über das Verhalten eines Cementes bei der Verwendung oder thut es eine der vorgeschlagenen (abgekürzten) Proben in zuverlässiger Weise?

Die Komission wurde gebildet aus den Herren:

Dr. Schumann, Lüneburg, Vorsitzender,
F. M. Meyer, Malstatt,
C. Prüßing, Hemmoor,
Dr. Prüßing, Meyerstorf,
F. Schiffner, Oberkassel,
C. Schindler, Weisenau bei Mainz,
F. Schott, Heidelberg,
Dr. Tomëi, Finkenwalde.

Am 18. Januar 1896 starb Herr Dr. Tomëi; an seine Stelle trat Herr Paulsen, Finkenwalde.

Der Kommission, welche auch die Aufgaben der schon früher gewählten Kommission für die Bestimmung der Bindezeit von Portlandcement, Vorsitzender Herr Schiffner, mit übernahm, und welche später ihre Arbeiten gemeinsam mit der Königl. mechanisch-technischen Ver-

suchsanstalt in Charlottenburg ausführte [1]), lag zuerst ein von Herrn C. Prüßing aufgestelltes Arbeitsprogramm vor, welches mit der Zeit durch Anträge der Kommissionsmitglieder und der Versuchsanstalt wesentliche Aenderungen erfuhr.

Allgemein war man der Ansicht, der Schwerpunkt der Arbeiten der Kommission müsse darin liegen, die Raumänderungen und die Festigkeit der Portlandcemente an fetten und mageren Mörteln auf längere Zeit unter Bedingungen festzustellen, wie sie der Verwendung in der Praxis entsprechen, insbesondere beim Erhärten an der Luft. Nach dem Vorschlage des Herrn C. Prüßing sollten 12 namhaft gemachte Cementmarken aus dem Handel aufgekauft und an die Mitglieder vertheilt werden.

Die Mehrzahl der Mitglieder neigte jedoch der Ansicht zu, daß es zweckmäßig wäre, zu den Untersuchungen vorzugsweise solche Cemente heranzuziehen, welche die Kochprobe und vielleicht auch die Darrprobe bei 100 C° nicht bestehen, die Normenprobe dagegen aushalten.

Um über die verschiedenen Vorschläge eine Einigung herbeizuführen, fand am 22. Mai 1895 in Frankurt a. M. eine Kommissionssitzung statt, an welcher die Herren Dr. Schumann, Meyer, C. Prüßing, Schiffner, Schindler, Schott und Tomëi theilnahmen. In dieser Sitzung wurden die von Herrn C. Prüßing aufgestellten Thesen einzeln besprochen. In der Erörterung hierüber wurde im Wesentlichen beschlossen, von allen zu prüfenden Cementen die Bindezeit mitzubestimmen und die Zeit des Beginnes und des Endes der Erhärtung, sowie die entsprechenden Wärmegrade und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Protokoll niederzuschreiben.

Da der Satz der Normen über die Wärmeerhöhung beim Abbinden in der Praxis zu großen Unzuträglichkeiten geführt hat, wurde beschlossen, die Arbeiten der Kommission auch auf diesen Punkt auszudehnen.

Bezüglich der Raumbeständigkeitsproben bei hohen Wärmegraden wurde beschlossen, alle vorgeschlagenen Methoden miteinander zu vergleichen, die sich in der Praxis leicht ausführen lassen, und nur die Erdmengersche Hochdruckprobe, wegen der Schwierigkeit der Ausführung, fallen zu lassen.

Der Arbeitsplan für die Raumbeständigkeitsproben wurde festgelegt. Die Vorschriften für die Ausführung der einzelnen Proben werden weiter unten wiedergegeben werden.

Neben den Raumbeständigkeitsproben wurde die Ausführung von Festigkeitsversuchen und zwar unter Verwendung von Normalsand und von natürlichem Rheinsand beschlossen. Der Normalsand sollte nur zur Charakterisirung der Normeneigenschaften der Cemente dienen, Rheinsand sollte dagegen für die größere Reihe der Versuche benutzt werden, um den Körpern eine der praktischen Verwendung nahe kommende Zusammensetzung zu geben.

Zur weiteren Charakterisirung der zu prüfenden Cemente wurde ferner beschlossen, Messungen mit dem Bauschingerschen Taster vorzunehmen und zwar unter Verwendung von Glasplättchen. Der Siebrückstand der Cemente sollte nach den Normen bestimmt werden.

Alle übrigen Proben, welche etwa für erwünscht gehalten würden, so insbesondere die Bestimmung des spezifischen Gewichtes und die Analyse der Cemente sollten den einzelnen Mitgliedern überlassen bleiben.

---

[1]) Vergl. Protokoll der Verhandlungen 1892, Seite 95, 1893, Seite 59, 1894, Seite 130, 1895, Seite 63.

Um festzustellen, ob zwischen den Prüfungsmethoden der einzelnen Mitglieder Uebereinstimmung besteht oder nicht, wurde beschlossen, einen vom Vorsitzenden der Kommission zu beschaffenden Cement, der möglichst die Normenprobe, jedoch nicht die Kochprobe besteht, von sämmtlichen Mitgliedern allen den Prüfungen unterziehen zu lassen, die innerhalb vier Wochen fällig werden. Bei günstigem Ausfalle der Vorprüfungen sollten die weiteren Cemente nur von 2 bis 3 Mitgliedern untersucht werden und die Arbeitsvertheilung dem Vorsitzenden überlassen bleiben.

In Verfolg dieser Beschlüsse hat der Vorsitzende der Kommission, Herr Dr. Schumann, am 19. Oktober 1894 an die Mitglieder der Kommission je ein Fäßchen Portlandcement gesandt, der nach vorläufiger Untersuchung die Kochprobe nicht aushielt, dagegen die Normenprobe bestand. Dieser Cement sollte mit dem gleichzeitig übersandten Rheinsand zur Herstellung von Festigkeitsproben und zur Anstellung der in dem vorläufigen Arbeitsprogramm vorgesehenen Raumbeständigkeitsproben benutzt werden. In Betreff der weiter vorzunehmenden Versuche schlug Dr. Schumann vor, die Kommission in drei Versuchsgruppen zu theilen und die Arbeitstheilung, sowie die Vertheilung der Cemente so vorzunehmen, daß jede Gruppe, bestehend aus je 3 bezw. 2 Kommissionsmitgliedern je 20 verschiedene Portlandcemente prüfen sollte. Danach hätten 60 verschiedene Portlandcemente den Prüfungen unterworfen werden müssen; und zwar sollte jeder Cement derselben Firma einmal, wenn er die Kochprobe besteht und zum andern Male, wenn er sie nicht besteht, zur Prüfung gelangen.

Im Anschlusse an diese Verhandlungen wurden dann noch Vorversuche geplant und ausgeführt, welche sich auf die Ausführung der Dehnungsmessungen mittelst des Bauschinger-Tasterapparates unter Verwendung von Glasplättchen oder Metallplättchen erstreckten. Aus den Versuchen ging hervor, daß die Methode sowohl unter Verwendung von Glas- als auch von Metallplättchen erhebliche Mängel hat; mit beiden wurden von einzelnen Mitgliedern bedeutende Schwankungen in den Messungen gefunden.

II. Arbeitsplan.

Nachdem die Vorarbeiten der Kommission soweit wie geschildert gediehen waren, beschloß der Verein Deutscher Portlandcement-Fabrikanten die weiteren grundlegenden Arbeiten für die geplante Revision der Normen gemeinsam mit der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg auszuführen. Namentlich wäre es wünschenswerth, bei der Wichtigkeit der Frage über die Brauchbarkeit oder Unbrauchbarkeit der vorgeschlagenen Raumbeständigkeitsproben auch diese Versuche unter Mitwirkung der Versuchsanstalt, gemeinsam mit ihr auszuführen.

In einer Sitzung der Kommission am 23. November 1895, an welcher die Herren Dr. Schumann, Meyer, C. Prüßing, Dr. Prüßing, Schott, Dr. Tomëi, Martens und Gary theilnahmen, wurde beschlossen, von den bisher vorgeschlagenen 60 Cementen und ihrer Vertheilung auf die Kommissionsmitglieder abzusehen und die Mitglieder des Vereins zu ersuchen, solche Cemente zu bezeichnen, welche die Kochprobe nicht bestehen, sich aber in der Praxis bewähren.

Im Uebrigen wurde die Beschaffung der Cemente der Versuchsanstalt überlassen, der es freigestellt wurde, nöthigenfalls auch ausländische Cemente zu den Versuchen mit heranzuziehen. Alle Cemente sollten sofort nach Eingang mit einer Ziffer bezeichnet an die Versuchsanstalt und je drei Kommissionsmitglieder ausgegeben werden.

Ein weiterer Beschluß ging dahin, die Versuche auf die beste Art der Bestimmung der Abbindezeit vorläufig aus dem Arbeitsplan auszuscheiden.

Betreffs der Ausführung der Messungen mit dem Bauschinger-Tasterapparate wurde die Verwendung von Glasplättchen beschlossen und gleichzeitig vorgeschrieben, die Cementstäbe nicht zu stark zu glätten und liegend auf gelochten Blechen oder auf Latten, nicht aber stehend aufzubewahren, weil die bisherigen Erfahrungen dafür zu sprechen schienen, daß sich die stehend aufbewahrten Körper leichter verziehen.

Da sich die Firma Dyckerhoff und Widmann in Amöneburg bereit erklärte, aus den zu prüfenden Cementen kleine Ornamentstücke herzustellen und im Freien aufzubewahren, so wurde beschlossen, auch dieser Firma Proben der Cemente zuzusenden.

Die Versuchsanstalt stellte nun unter Berücksichtigung der früher gemachten Vorschläge der Kommission einen Arbeitsplan und ein Protokoll für die Aufzeichnung der Versuchsergebnisse zusammen, welches nachstehend abgedruckt ist, und aus welchem gleichzeitig der Umfang der zur Ausführung bestimmten Versuche ersichtlich ist.

Leider hat die Kommission von der Ausführung von Druckversuchen neben den Zugversuchen absehen müssen, weil die Arbeit sonst zu groß geworden wäre. Dagegen sind auf Grund eines später gefaßten Kommissionsbeschlusses nachträglich noch die chemischen Analysen der zehn Cemente — und zwar in der Königlichen chemisch-technischen Versuchsanstalt zu Berlin — ausgeführt worden.

Protokoll

über Raumbeständigkeits- und Bindezeit-Prüfungen von Portlandcement.

Marke .....

Nach dem Arbeitsplan der vereinigten Kommission des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten für Prüfung auf Raumbeständigkeit und Bindezeit sind folgende Prüfungen auszuführen:

I. Die allgemeinen Eigenschaften.
   a) Bindezeit, einschließlich Wärmeerhöhung und Erhärtungsanfang.
   b) Mahlung.
   c) Raumbeständigkeit (Normenprobe und beschleunigte Proben).

II. Ausdehnungsfähigkeit.
   a) für reinen Cement.
   b) für Mörtel aus 1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand
   für 24 Stunden, 28 Tage, 3 Monate, 1 Jahr, 2 und 4 Jahre.

III. Festigkeitseigenschaften.
   a) Zug und Druckfestigkeit des Mörtels aus 1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Normalsand (mit 10 % Wasser) für 28-tägige Erhärtung unter Wasser, mit dem Hammerapparat eingeschlagen. } 10 Zug- und 10 Druckproben.
   b) Zugfestigkeit des Mörtels aus:
      α) 1 Gew.-Thl. Cement + 1 Gew.-Thl. Rheinsand (mit 12 % Wasser) von Hand eingeschlagen (Gewicht des Spatels 750 g): 150 Zugproben,
      β) 1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand (mit 10 % Wasser) mit dem Hammerapparat eingeschlagen: 150 Zugproben

   für 28 Tage, 3 Monate, 1, 2 und 4 Jahre alte Proben bei folgenden Erhärtungsarten:
      1. 24 Stunden an der feuchten Luft, die übrige Zeit unter Wasser,
      2. 24 „ „ „ „ „ 3 Tage in Wasser, dann an der Luft,
      3. 24 „ „ „ „ „ dann nur an der Luft.

IV. Verhalten der aus dem Cement hergestellten Cementwaaren gegenüber dem Witterungseinfluß.

III. Beschaffung der Materialien.

Nachdem der Arbeitsplan der Versuchsanstalt die Zustimmung der Kommission gefunden hatte, wurde an sämmtliche Mitglieder des Vereins Deutscher Portlandcement-Fabrikanten am 23. Dezember 1895 ein Rundschreiben gerichtet, mit der Anfrage, ob es den Fabrikanten möglich sein würde, eine Tonne Cement einzusenden, der nach ihrer Meinung die Kochprobe nicht besteht, sich aber in der Praxis gut bewährt hat. Gleichzeitig wurde um Mittheilung ersucht, um welche Marke es sich handle, damit diese nicht doppelt beschafft würde und in welcher Zeit dem Eingange des Cementes entgegengesehen werden könne. Vollste Verschwiegenheit wurde zugesichert. Der Cement solle nur unter einer Buchstaben- oder Zifferbezeichnung zur Prüfung gegeben werden.

Auf dieses Rundschreiben gingen von 42 Fabrikanten Antwortschreiben ein, von denen 24 mittheilen, daß ihr Cement die Kochprobe bestehe. Ein Fabrikant hatte über den Ausfall der Kochprobe noch keine Erfahrung, 17 Fabrikanten gaben an, daß ihr Cement die Kochprobe nicht bestehe, sich aber in der Praxis gut bewährt habe und sandten je eine Tonne dieses Cementes an die Versuchsanstalt zur Prüfung ein. Zwei dieser Cemente, die am 17. Dezember 1895 bezw. 25. Januar 1896 eingingen, aber erst am 15. bezw. 16. März 1896 in der Versuchsanstalt auf Kochsicherheit geprüft werden konnten und hierbei die Kochprobe bestanden, schieden aus der Reihe aus. Zu einem dieser Cemente theilte der Fabrikant nachträglich mit, daß die Sendung auf einem Irrthum beruhe, und daß er keine Cemente erzeuge, welche die Kochprobe nicht bestehen. Der andere Fabrikant sandte einen neuen Cement ein, der sich nunmehr als kochunsicher erwies.

Aus den somit verbleibenden 16 Cementen wurden 6 aus folgenden Gründen ausgeschieden:

Von einem Cement war der Fabrikant selbst nicht sicher, ob er nicht doch die Kochprobe aushält. Ein zweiter Cement war doppelt eingeschickt worden, und zwar war einmal der Einsender nicht selber Fabrikant der eingesandten Waare. Von einem dritten Cemente theilte der Fabrikant mit, daß er schnell bindend und als durchaus raumbeständig bei der Darrprobe und im Wasserbade zu betrachten sei, wenn auch die Kochprobe eine starke Verkrümmung zeige. Der Cement schien für den vorliegenden Zweck ungeeignet. Schließlich gingen zwei Cemente verspätet und einer ohne Begleitschreiben ein, so daß auch diese ausgeschieden wurden.

Von den nun verbleibenden, den Prüfungen unterworfenen zehn Cementmarken machen die Fabrikanten folgende Angaben:

Cement A. Baumarke einer süddeutschen Cementfabrik, für Betonirungsarbeiten und zur Plattenfabrikation gut geeignet.

Cement B. Portlandcement einer mitteldeutschen Fabrik ohne nähere Angaben.

Cement C. Portlandcement einer norddeutschen Cementfabrik. Proben aus einer Mahlung zweier Tage, die eine schlechte Kochprobe ergaben. Der Kuchen krümmte sich etwas, zeigte starkes Netzwerk, war nach fast dreistündigem Kochen zuerst sehr mürbe, wurde aber nach wenigen Stunden an der Luft etwas fester. Die gleichzeitig angemachten Kugeln zeigten nur einen etwa 3 cm langen feinen Haarriß mit zwei noch kürzeren, feinen Abzweigungen. Die Kuchen waren mit 100 g Cement bei etwa 20 C° mit 27½ % Wasser angemacht und wurden sofort in die Naßkammer gelegt. Nach etwa 19 Stunden kamen sie 1½ Stunden

Ia. Abbindeverhältnisse.

Versuch Nr.	Verfahren	Wärme des Cements	Wärme des Wassers	Wärme der Luft	Feuchtigkeit der Luft	Wasserzusatz	Verlauf der Erhärtung: Zeit nach welcher die Wärmeerhöhung beginnt	Wärmeerhöhung Max.	Angemacht um Uhr	Erhärtungsanfang um	Erhärtungsanfang also nach	Erhärtungsende um	Erhärtungsende also nach
		beim Versuchsbeginn											
		C°	C°	C°	%	%	Std. Min	C°	Std. Min	Std. Min	Std. Min	Std. Min	Std. Min
		Folgen die Einzel-Ergebnisse der Kuchenprobe und der Nadelprobe.											

Ib. Feinheit der Mahlung.

Auf dem Siebe von Maschen für 1 qcm	1. Versuch	2. Versuch	im Mittel
	Rückstand %		
5000			
900			

Ic. Raumbeständigkeit.

Nr.	Datum: Tag	Monat	Jahr	Hergestellt wurden:	Bezeichnung der Proben
1				Für die Normenprobe und die Proben bei Zimmerwärme. a) 16 Kuchen aus je 100 g Cement von etwa ..... cm Durchmesser und ..... cm Dicke in der Mitte mit ..... % Wasser mit dünn auslaufenden Rändern, b) 16 Kuchen desgl. mit abgerundeten Rändern, für folgende Erhärtungsarten: α) nur im Wasser, β) 3 Tage im Wasser, dann an der Luft, γ) nur an der Luft im Zimmer, δ) nur an der Luft im Freien, jedoch unter Dach, } vorher sämmtlich 24 Stunden in feuchter Luft	
2				Für die Darrprobe bei 100 C°. Je 4 Kuchen wie unter Nr. 1 a und b.	
3				Für die Heintzelsche Kugel- (Glüh-) probe. 4 Kugeln von je 5 cm Durchmesser.	
4				Für die Kochprobe nach Michaelis. Je 4 Kuchen wie Nr. 1 a und b, event. je weitere 4 Kuchen für 1-, 2-, 3- und 4-wöchentliche Erhärtungsdauer.	
5				Für die Kugelkochprobe nach Tetmajer. 4 Kugeln von 5 cm Durchmesser.	
6				Für die Heißwasserprobe nach Maclay. 6 Kuchen von 8 cm Durchmesser, 1½ cm Dicke mit ..... % Wasser und Glasplatten ausgegossen.	
7				Für die Preßkuchenprobe nach Prüßing (Druck von 50 Atm.). 4 Kuchen mit 5 bis 8 % Wasser von etwa ..... cm Durchmesser und ..... cm Dicke.	

Ergebnisse der Raum-

Art der Behandlung	Raumbeständigkeitsproben bei Zimmerwärme 24 Stunden in feuchter Luft, dann								Darrprobe		Heintzelsche Kugelprobe (Glühprobe)
	nur im Wasser (Normenprobe		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach		Kuchen mit dünnen Rändern	Kuchen mit abgerundeten Rändern	Kugeln auf eine Gipsplatte gelegt, bis sie hart sind (ca. 5 Minuten). Auf dünner Eisenblechplatte über Bunsenbrenner erhitzt. Spitze der Flamme soll die Platte erst nicht erreichen. Nach 1½ Stunden wird die Flamme gesteigert, bis sie die volle Fläche bestreicht 2 Stunden lang erhitzt.
	Ränder der Kuchen								24 Stunden in feuchter Luft erhärtet. Bei 100 C° in mit kochendem Wasser geheiztem Luftbad auf einer Metallplatte gedarrt, bis keine Wasserdämpfe mehr entweichen (ca. 3 Stunden)		
	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund			
Bezeichnung											
Ergebniß für 7 Tage u. s. w.	Folgen die Ergebnisse der Beobachtung nach 7 Tagen, 28 Tagen, 3 Monaten, 1 Jahr, 2 Jahren, 3 u. 4 Jahren.										

II. Messung der Ausdehnung.

Je 5 Prismen von 10 cm Länge und 5 qcm Querschnitt
1. aus reinem Cement normengemäß eingeschlagen, also mit 20—22% Wasser.
2. aus 1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand mit 10% Wasser.

24 Stunden in feuchter Luft, dann in Wasser erhärtet.

Versuch Nr.	Mischung	Ablesung in 1/1000 mm, nach															
		24 Stunden		28 Tagen	Differenz +	Differenz —	3 Monaten	Differenz +	Differenz —	1 Jahr	Differenz +	Differenz —	2 Jahren	Differenz +	Differenz --	4 Jahren	Differenz +	Differenz —
		Je fünf Körper aus reinem Cement und aus Mörtel 1 Cement + 3 Rheinsand.															

III. Festigkeit.

Hergestellt am Tag	Mon.	Jahr	Zahl der Zugproben bezw. Druckproben	Mischung	Wasserzusatz %	Mittleres Gewicht der Proben nach dem Einschlagen	Rauminhalt der Proben	Raumgewicht (Dichte)	Zeichen der Probekörper	Zur Prüfung nach 28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	2 Jahren	4 Jahren
										am				

1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Normalsand.			
28 Tage alte Proben			
Versuch Nr.	Zugfestigkeit kg/qcm	Druckfestigkeit Bruchlast kg	kg/qcm
	Je 10 Einzelversuche.		

beständigkeitsproben.

Kochprobe nach Michaelis		Kugelprobe nach Tetmajer	Heißwasserprobe nach Maclay						Preßkuchenprobe nach Prüßing	
Dünne Kuchen mit dünn auslaufenden Rändern	Dicke Kuchen mit dicken, abgerundeten Rändern	Kugeln 24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 1¼ Stunden zum Kochen gebracht und 6 Stunden gekocht	6 Kuchen von der Glasplatte losgelöst.						4 Kuchen sogleich aus der Form genommen, 24 Stunden in einem Kasten gegen Ausdünstung geschützt und dann in kaltes Wasser gelegt	
			1 Kuchen sofort nach dem Gießen	1 Kuchen nach dem Abbinden	1 Kuchen nach der doppelten Abbindezeit	1 Kuchen nach 24 Stunden	1 Kuchen nach dem Abbinden in frisches Wasser von etwa 15 C°	1 Kuchen in feuchter Luft von etwa 15 C° gehalten	2 Kuchen nach 2 Stunden aus dem Wasser genommen und in ein Wasserbad von 90—100 C° gelegt. Nach 4- und 24-stündigem Aufenthalt im heißen Wasser zu beobachten	2 Kuchen 28 Tage in kaltem Wasser erhärtet
24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 10 Minuten zum Kochen gebracht und 3 Stunden gekocht			3 Stunden in ein Dampfbad von 90—95 C.°, dann 21 Stunden lang in kochendes Wasser							
Folgen die Ergebnisse der Beobachtung nach einer Woche, 2, 3 und 4 Wochen			Nach 3 Stunden Dampfbad und						Nach 4 Stunden und	
			Nach 21-stündigem Kochen						Nach 24 Stunden	

Festigkeitsergebnisse.

Zugfestigkeit in Kilogramm für 1 qcm.

Alter	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	Bemerkungen
Versuch Nr.	1 Gew.-Thl. Cement + 1 Gew.-Thl. Rheinsand.					
	Je 10 Einzelversuche.					24 Stunden an der feuchten Luft, die übrige Zeit unter Wasser erhärtet.
	1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand.					
	Je 10 Einzelversuche.					

Festigkeitsergebnisse.

Zugfestigkeit in Kilogramm für 1 qcm.

Alter	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	Bemerkungen
Versuch Nr.	1 Gew.-Thl. Cement + 1 Gew.-Thl. Rheinsand.					
	Je 10 Einzelversuche.					24 Stunden an der feuchten Luft, drei Tage in Wasser, dann an der Luft erhärtet.
	1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew. Rheinsand.					
	Je 10 Einzelversuche.					

Festigkeitsergebnisse.

Zugfestigkeit in Kilogramm für 1 qcm.

Alter	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	Bemerkungen
Versuch Nr.	1 Gew.-Thl. Cement + 1 Gew.-Thl. Rheinsand.					
	Je 10 Einzelversuche.					24 Stunden an der feuchten Luft, dann nur an der Luft erhärtet.
	1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand.					
	Je 10 Einzelversuche.					

IV. Verhalten der aus dem Cement mit ... Gew.-Thl. Rheinsand hergestellten Cementwaaren im Freien.

Aus dem Cement wurde mit ..... Gew.-Thl. Rheinsand am .....

hergestellt: .....

.....

indem: .....

Die Körper kamen ins Freie am: .....

wurden beobachtet

	Ergebniß:
1. am	.....
u. s. w.	

in Dampf und dann ebenso lange in kochendes Wasser. Die Kugeln wurden aus 200 g Cement mit 10 % Wasser angemacht und sehr fest zusammengepreßt, um möglichst alle Räume mit Cement auszufüllen. Die Kugeln wurden ebenfalls in der Naßkammer vor dem Verdunsten des Wassers geschützt und dann nach 19 bis 20 Stunden auf eine sehr heiße Spiritusflamme ohne Drahtgewebe oder Zwischenblech gebracht. Kugeln mit 18 bis 20 % Wasser sind in der Fabrik als zu schwache Proben verworfen worden. Wasserproben und Luftproben des Cementes fielen sehr gut aus. Die Zugfestigkeit ermittelte die Fabrik nach 7 Tagen zwischen 10 und 17½, nach 28 Tagen zwischen 19 und 21½ kg/qcm. Die als zweifelhaft befundene Mahlung wurde vom Versandt ausgeschlossen, dagegen mehrfach auf dem Werke selbst verwendet z. B. zu Beton 1 : 6, 8 cm hoch und darüber 1 : 1, 2 cm hoch. Ferner zum Verputz 1 : 2, zu einem Wasserbassin zum Einweichen der Faßreifen 150 cm hoch, 200 cm breit, 600 cm lang, und zu verschiedenen anderen Zwecken.

Einzelne dieser Arbeiten wurden absichtlich beim ersten Eintritte der Nachtfröste vorgenommen. Dennoch sind sämmtliche Gegenstände vollkommen fest und rißfrei geblieben. Die Kochprobe hat sich bei diesem Theil des Cementes bis zum Tage der Einsendung an die Versuchsanstalt nicht gebessert, während die anderen Fabrikate die Kochprobe tadellos bestehen.

Cement D. Langsam bindender Portlandcement aus einer süddeutschen Fabrik, gemahlen am 19. Dezember 1895. Bindezeit neun Stunden bei einer

THE NEW YO
PUBLIC LIBRA
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

Wärme des Cementes von 9 C°, des Wassers von 10 C° und einem Wasserzusatz von 24 %. Der Cement besteht die Normenprobe und die Warmwasserprobe bis 75 C°, aber nicht die Kochprobe, und wird sich nach Erfahrung der Fabrikleitung in der Praxis vollkommen bewähren. Einen Theil des Cementes hat die Fabrikleitung aus dem Fasse entnommen und davon Normenzugproben u. s. w., sowie Mörtelproben rein und mit Sand zum Lagern im Freien hergestellt.

Cement F. Portlandcement einer süddeutschen Fabrik, der nach Angabe der Fabrikleitung die Kochprobe nicht vollständig aushält, sich aber in der Praxis bewähren wird.

Cement G. Portlandcement einer westdeutschen Fabrik, der nach Meinung der Fabrikleitung die Kochprobe nicht besteht, sich aber in der Praxis gut bewährt hat.

Cement H. Portlandcement einer Fabrik der österreichisch-ungarischen Monarchie.

Cement J. Cement aus einer anderen österreichischen Fabrik. Er wird als Marke II angesehen, aus trocken gepreßten Ziegeln gebrannt und in Kugelmühlen gemahlen. Der Cement soll im frischen Zustande die Kochprobe selten bestehen, und seit Jahren in den Handel gebracht werden, ohne bisher zu einem Tadel Veranlassung gegeben zu haben.

Cement L. Portlandcement einer süddeutschen Fabrik, dessen Treiberscheinungen nach Angabe der Fabrikleitung bei längerem Lagern wieder verschwinden.

Cement U. Portlandcement einer süddeutschen Portlandcement-Fabrik, der frisch aus dem Ringofen ohne jede Ablagerung der Klinker gemahlen und von der Mühle weg verpackt wurde. Der Cement ging am 7. April 1896 bei der Versuchsanstalt ein und sollte nach Erfahrungen der Fabrik nach vier bis sechs Wochen kochsicher sein. Wiederholte ausgedehnte Versuche haben der Fabrik gezeigt, daß dieser frische und dadurch kochunbeständige Cement in der Praxis sich vollkommen bewährt und gute Festigkeit ergiebt.

Die vorstehend näher geschilderten für die Versuche bestimmten 10 Cemente wurden nach Möglichkeit sogleich nach Eingang in der Versuchsanstalt den Prüfungen unterworfen. Der nicht benutzte Theil des Cementes aus jedem Fasse wurde in zwei Hälften getheilt, sogleich in Blechbüchsen gebracht, verlöthet und an je zwei Mitglieder der Kommission versandt. Von der Abgabe des Cementes aus jedem Fasse an drei Mitglieder der Kommission mußte abgesehen werden, da sonst der Cement aus einem Fasse nicht ausgereicht hätte.

Somit erhielten aus jedem der zehn Fässer je zwei Mitglieder der Kommission und die Versuchsanstalt etwa je 50 kg Cement. Der Rest des Cementes wurde an die Cementwaarenfabrik Dyckerhoff & Widmann zur Anfertigung von Cementwaaren geschickt.

Auf diese Weise erhielten:

Die Versuchsanstalt und die Firma Dyckerhoff & Widmann je zehn Cementsorten,

Herr Dr. Schumann und Herr Meyer	Marke	A, F und H,
Herr C. Prüßing und Herr Dr. Prüßing	„	B, J und U,
Herr Schiffner und Herr Schindler	„	C und L,
Herr Schott und Herr Dr. Tomëi	„	G und D.

Jeder Sendung waren die erforderlichen Protokolle und eine Anweisung über die Behandlung des Cementes beigegeben. Namentlich wurde auf die Nothwendigkeit hingewiesen,

die Versuche sogleich zu beginnen und den Cement in einem dicht schließenden Gefäße aufzubewahren. Der zu den Proben verwendete Rheinsand wurde den einzelnen Mitgliedern von Dr. Schumann übersandt, während die Beschaffung des Normalsandes für die Normenproben jedem Mitgliede selbst überlassen blieb.

IV. Versuchsausführung.

Bei Ausführung der Versuche und Herstellung der hierzu erforderlichen Probekörper in der Versuchsanstalt wurden im Allgemeinen die üblichen Verfahren beobachtet. Ueber die Art der Versuchsausführung an den anderen Stellen ist dem Berichterstatter nur bekannt, daß sie sich — so weit angängig — den Vorschriften der Normen anpaßte.

Eine Reihe äußerer Umstände, vor allem auch die Thatsache, daß die Cemente nicht überall unmittelbar nach Eingang zur Prüfung gelangten, haben indessen theilweise große Verschiedenheiten in den Ergebnissen bewirkt, wie weiter unten sich zeigen wird. Den Versuchsergebnissen ist gleichmäßiger Werth nicht zuzusprechen, indessen giebt die Gesammtheit der Versuche doch das beabsichtigte übersichtliche Bild des Verhaltens der Cemente unter dem Einflusse der verschiedenen Proben.

a) Die Prüfung auf Abbindezeit erfolgte an Kuchen auf Glasplatten und in Hartgummidosen, in welche der normengemäß angerührte Cementbrei eingefüllt wurde. Die Kuchen wurden als abgebunden betrachtet, wenn bei einem leisen Drucke mit dem Fingernagel bezw. bei vorsichtigem Aufsetzen der Vicatschen Nadel mit 1 qmm kreisrundem Querschnitt kein Eindruck im Cement mehr sichtbar war. Die zu prüfenden Cemente wurden mit dem zum Anmachen bestimmten Wasser vor der Prüfung eine Nacht über in dem Abbinderaum aufbewahrt. Luft- und Wasserwärme, sowie Feuchtigkeit in der Luft ist vor Beginn des Versuches jedesmal festgestellt worden.

b) Für die Siebversuche wurden die in der Versuchsanstalt üblichen Siebe benutzt. Die Siebung wurde jedesmal so lange fortgesetzt, bis keine Cementtheilchen mehr durch die Siebe hindurchgingen (scharfe Siebung). Um auch die vielfach vorhandenen durch geringe Feuchtigkeit zusammengebackenen Klümpchen zu zertheilen, wurden von der Versuchsanstalt 2—3 Steinkügelchen auf das Sieb gegeben.

c) Für die Raumbeständigkeitsprüfungen wurden von jedem Cement folgende Körper angefertigt:

1. Für die Normen- und Luftproben
   a) 16 Kuchen aus je 100 g Cement von etwa 10 cm Durchmesser und 1 cm Dicke in der Mitte mit dünn auslaufenden Rändern,
   b) 16 Kuchen desgl. mit abgerundeten Rändern für folgende Erhärtungsarten:

α nur im Wasser β 3 Tage im Wasser, dann an der Luft	vorher sämmtlich 24 Stunden in feuchter Luft.
γ nur an der Luft im Zimmer δ nur an der Luft im Freien, jedoch unter Dach	

2. Für die Darrprobe bei 100 C° je vier Kuchen derselben Form wie unter 1a und b.
3. Für die Heintzelsche Kugel- (Glüh-)probe vier Kugeln von etwa 5 cm Durchmesser.
4. Für die Kochprobe nach Michaelis je vier Kuchen von der Form wie unter 1a und b, nöthigenfalls je weitere vier gleiche Kuchen für 1-, 2-, 3- und 4-wöchentliche Erhärtungsdauer.
5. Für die Kugelkochprobe nach Tetmajer vier Kugeln von etwa 5 cm Durchmesser.

6. Für die Heißwasserprobe nach Maclay sechs Kuchen von etwa 8 cm Durchmesser und etwa $1^1/_2$ cm Dicke auf Glasplatten ausgegossen.
7. Für die Preßkuchenprobe nach Prüßing (Druck von 50 kg/qcm) vier Kuchen mit 5 bis 8 % Wasser von etwa 8 cm Durchmesser und 1 cm Dicke.

Die für die verschiedenen Proben erforderlichen Wasserzusätze wurden dem Wesen der Cemente entsprechend gewählt. Im Allgemeinen hatten die Kuchen für die Versuche unter 1, 2, 4 und 6 gleichen Wasserzusatz. Derselbe schwankte bei den verschiedenen Cementen zwischen 24 % und 27 %. Der Wasseranspruch der Kugeln nach Tetmajer war etwas geringer und schwankte zwischen 22,0 % und 26,5 %. Der Wasserzusatz zu den Kugeln für die Heintzelsche Glühprobe war noch etwas geringer und schwankte zwischen 21 und 26,5 %, während die Preßkuchen mit 7 oder 8 % Wasser angemacht wurden.

Die genauen Angaben über die in der Versuchsanstalt benutzten Wasserzusätze sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich.

Wasserzusätze in Gewichtsprozent
für die Probekörper der Raumbeständigkeitsprüfungen.

Cementmarke	Normenprobe	Darrprobe	Glühprobe	Kochprobe Michaelis	Kochprobe Tetmajer	Heißwasserprobe Maclay	Preßprobe Prüßing
A.	26,2	26,2	21,3	26,2	24,2	26,0	7,0
B.	26,0	26,0	22,5	26,0	24,0	26,0	7,0
C	24,0	24,0	22,0	24,0	24,0	24,0	7,0
D.	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	8,0
E.	25,0	25,0	24,0	25,0	24,0	25,0	7,0
G.	26,0	26,0	24,0	26,0	26,0	26,0	8,0
H.	24,0	24,0	22,0	24,0	22,0	24,0	7,0
J.	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0	25,0	8,0
L.	27,0	27,0	26,0	27,0	26,0	27,0	8,0
U.	24,0	24,0	21,0	24,0	24,0	24,0	7,0
Zwischen	24,0—27 0	24,0—27,0	21,0—26,5	24,0—27,0	22,0—26,5	24,0—27,0	7—8

Für die Ausführung der beschleunigten Raumbeständigkeitsprüfungen und die Beurtheilung der dabei auftretenden Erscheinungen waren nachstehende Vorschriften maßgebend [1]).

1. Die Darrprobe bei 100 C°.

100 g Cement werden normengemäß mit Wasser angemacht und auf einem befeuchteten Blättchen Fließpapier, welches man auf eine völlig ebene Glas- oder Metallplatte gelegt hat, zu einem Kuchen geformt. Nach dem Abbinden wird der Kuchen nach Entfernung des Fließpapiers bis zu 24 Stunden in einem feuchten Raume aufbewahrt und hierauf bei 100 C° (mit kochendem Wasser geheiztes Luftbad) auf einer Metallplatte gedarrt, bis keine Wasserdämpfe mehr entweichen (etwa 3 Stunden lang).

2. Die Heintzelsche Kugelprobe.

300 g Cement werden mit 60 ccm Wasser befeuchtet, rasch durchgearbeitet, in die hohle Hand gebracht und zu einer Kugel geformt. Die richtige Menge Wasser ist genommen, wenn der Cement beim Reiben der Kugel etwas schmiert, und sich diese bei seitlichem Druck schwach beweglich zeigt. Bei mittelraschbindenden Cementen und bei solchen, welche beim Bereiten eines Kuchens mehr als 30 % Wasser gebrauchen, wird man 61, 62, 63 ccm Wasser zur

[1]) Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten 1895.

Herstellung der Kugeln nehmen müssen. Es sind also je nach der Verschiedenheit der Cemente 20 bis 21 % Wasser zu verwenden [1]).

Die Kugel wird auf eine Glasplatte gelegt. Nach etwa 5 Minuten wird dieselbe so hart sein, daß sie beim Anschlagen mit dem Fingernagel kaum mehr einen Eindruck zuläßt. Sie wird alsdann auf eine dünne Eisenblechplatte gebracht und diese über dem Bunsenbrenner erhitzt. Die Spitze der Flamme soll zuerst die Platte nicht erreichen. Erhitzt man zu rasch, so werden kleine Blättchen der Kugel an der durch die Flamme am stärksten getroffenen Stelle vom entweichenden Wasserdampf losgesprengt. Sobald die Kugel an der die Platte berührenden Stelle anfängt trocken zu werden, wird die Flamme allmählich gesteigert, bis sie schließlich — nach etwa ½ Stunde — die Platte voll bestreicht. Nach zwei Stunden schlägt sich auf einer dicht über die Kugel gehaltenen Glasplatte kein Wasserdampf mehr nieder, und der Versuch ist beendet.

Eine Steigerung der Hitze bis zum Glühen der Kugel ist nicht sachgemäß.

3. Die Kochprobe nach Michaelis.

50 g des zu prüfenden Cementes werden in annähernd Normalkonsistenz, d. h. mit 13 bis 15 g Wasser, eine Minute lang durchgearbeitet und zu den bekannten Glasplattenkuchen (1 cm in der Mitte dick, nach den Rändern dünn auslaufend) angemacht, in einem mit Wasserdampf gesättigten bedeckten Raume 24 Stunden der Erhärtung überlassen, sodann entweder von der Glasplatte gelöst oder auch mit der Glasplatte in ein kaltes Wasserbad verbracht, welches langsam, d. h. in etwa 10 Minuten, zum Sieden gebracht wird, zweckmäßig bei aufgelegtem Deckel zur Beschränkung der Wasserverdampfung. Der Kuchen soll ganz in kochendem Wasser sich befinden. Im Falle Wasser nachzugeben ist, soll dies in kleinen Mengen geschehen, so daß das Wasser immer alsbald wieder auf den Kochpunkt kommt. Nach dreistündigem Kochen wird der Kuchen dem Wasser entnommen und besichtigt.

4. Die Kugelkochprobe von Tetmajer.

Der Cement wird mit Wasser steif angemacht und in Kugeln von etwa 5 cm Durchmesser geformt. Die Konsistenz soll derart sein, daß die Kugel sich auf einer Glasplatte durch Daraufklopfen oder Drücken mit der Hand in eine runde Platte umwandeln läßt, ohne zu reißen. Die Kugeln werden 24 Stunden in einem feuchten Raume aufbewahrt, dann in ein Bad mit kaltem Wasser gelegt und dieses langsam, in etwa 1¼ Stunde zum Kochen gebracht. Nach sechsstündigem Kochen ist die Prüfung beendet.

5. Die Maclaysche Heißwasserprobe.

Es werden 6 Kuchen von reinem Cement mit Wasser ungefähr einen halben Zoll dick und drei Zoll im Durchmesser auf dünne Glasplatten und in derselben Konsistenz wie für die Zugkörper (nach amerikanischer Art) ausgegossen. Einer dieser Kuchen wird, sobald er gegossen ist, in ein Dampfbad von 90 bis 95 C° gesetzt. Der zweite Kuchen kommt in dasselbe Dampfbad, sobald er abgebunden hat und die mit 1 Pfund (amerikanisch) belastetete Normalnadel tragen kann, während der dritte Kuchen nach der doppelten Abbindezeit in das Dampfbad gebracht wird. Der vierte Kuchen wird nach Verlauf von 24 Stunden ins Dampfbad, der fünfte, sobald er abgebunden hat, in frisches Wasser von ungefähr 15 C° gesetzt. Der sechste

[1]) Bei Anfertigung der Kugeln stellte sich heraus, daß 21 % Wasser für die meisten geprüften Cemente noch zu wenig war.

wird in feuchter Luft von gleichfalls etwa 15 C° gehalten. Die ersten vier Kuchen bleiben jeder drei Stunden im Dampfbade, dann werden sie 21 Stunden lang in kochendem Wasser gehalten, herausgenommen und geprüft.

6. Die Prüßingsche Preßkuchenprobe.

Je 100 g Portlandcement werden dem Grade der Mahlfeinheit entsprechend mit 5 bis 8 % Wasser schnell innig gemischt, sodann in der Preßkuchenform gleichmäßig ausgebreitet und nach dem Aufsetzen des Stempels in einer Presse mit 50 Atmosphären gedrückt. Zwei auf diese Weise gepreßte Kuchen werden sogleich aus den Formen genommen und auf Glas- oder Eisenplatten vor Ausdünstung geschützt, 24 Stunden lang der Erhärtung überlassen. Sodann werden beide Kuchen in kaltes Wasser gelegt und bleibt einer derselben bis zu 28 Tagen darin liegen. Der zweite Preßkuchen, welcher einer beschleunigten Raumbeständigkeitsprobe unterworfen werden soll, wird nach zwei Stunden dem kalten Wasser entnommen und falls er noch tadellos ist, in ein Wasserbad von 90 bis 100 C° gelegt. Ist dieser Kuchen nach vierstündigem Aufenthalte in dem heißen Wasser noch ganz gerade und rißfrei, so ist der Cement im Allgemeinen als raumbeständig zu betrachten. Ist der Kuchen auch nach 24stündigem Aufenthalte in dem heißen Wasser gerade und rißfrei, so wird sich der fragliche Cement sicher bei der schwierigsten Verarbeitungsweise und anspruchsvollsten Verwendung der Cementwaare als vollständig raumbeständig erweisen. Zeigt der Preßkuchen nach 24stündigem Aufenthalte im heißen Bade auch schon eine besonders gute mechanische Festigkeit, so ist dies ein Zeichen, daß die Qualität des fraglichen Cementes in Bezug auf Festigkeit eine besonders gute ist.

d) Für die Prüfung auf Längenänderung mittelst des Bauschinger-Apparates wurden die vorschriftsmäßigen Prismen von 10 cm Länge und 5 qcm Querschnitt hergestellt. Sie wurden zunächst an den Enden mit Nickelplättchen, die später durch Achatplättchen ersetzt wurden, versehen[1]).

Die Probekörper aus reinem Cement waren mit 20 bis 22 % Wasser, diejenigen aus 1 Gew. Thl. Cement + 3 Gew. Thl. Rheinsand in allen Fällen mit 10 % Wasser in die Formen eingeschlagen.

Die Messung der Proben, welche einen Tag an der Luft, die übrige Zeit im Wasser erhärteten, wurde nach 24stündiger, 28tägiger und 12- und 24monatlicher Beobachtungszeit mit dem bekannten Bauschingerschen Tasterapparat ausgeführt.

e. Das Mischen des Mörtels, sowie die Herstellung der Probekörper für die Festigkeitsversuche erfolgte nach Vorschrift der „Normen". Die Probekörper aus 1 Gew. Thl. Cement + 3 Gew. Thl. Normalsand bezw. Rheinsand wurden mittelst des Böhmeschen Hammerapparates, diejenigen aus 1 Gew. Thl. Cement + 1 Gew. Thl. Rheinsand mittelst des 750 g schweren Spatels von Hand eingeschlagen. Der Wasserzusatz betrug für die Normalsandproben 1 : 3 = 10 %, für die Rheinsandproben 1 : 1 = 12 % und für die Rheinsandproben 1 : 3 = 10 %. Die Art der Erhärtung und die Altersklassen sind aus dem Arbeitsplan S. 11 u. 12 ersichtlich.

Für die Prüfung auf Zugfestigkeit wurde Michaelis' Hebelapparat und für die Druckversuche die Amslersche 32 t Presse benutzt.

f. Zu den Versuchen auf Beobachtung der 10 Cemente hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Witterungseinflüsse fertigte die Firma Dyckerhoff & Widmann in Amöneburg aus den 10 ihr übermittelten Cementen sofort nach deren Ankunft:

[1]) Die Kennzeichnung der Unterschiede zwischen Glas-, Messing-, Nickel- und Achatplättchen und ihres Einflusses auf die Messungsergebnisse muß besonderer Mittheilung vorbehalten bleiben.

2 Medaillons von 29,5 cm Durchmesser und 3 cm Kantenhöhe;
2 Rosetten von 24,5 cm Durchmesser und 5 cm Kantenhöhe;
2 Kanalverschlußdeckel von 21 cm Durchmesser und 3 cm Kantenhöhe.

Die Lichtbilder Fig. 1 und 2, welche nach etwa $1^1/_2$ Jahr Alter der Stücke aufgenommen sind, zeigen die Gestaltung der Gegenstände. Alle Probestücke wurden von ge-

Fig. 1: Cement B.

Fig. 2: Cement D.

übten Leuten aus einem sogenannten „Vorguß" aus 1 Theil Cement und 1 Theil feinem Rheinsand, einem „Nachguß" aus 1 Theil Cement und 2 Theilen grobem Rheinsand und aus darauf gestampftem Beton aus 1 Theil Cement und 4 Theilen Kiessand (alle Mischungen in Raumtheilen) in Gips- oder Leimformen hergestellt.

Je ein Probestück blieb 3 Tage im geschlossenen Raume, wurde während dieser Zeit feucht gehalten und kam dann ins Freie. Die übrigen 3 Probestücke blieben unter beständiger Feuchthaltung 28 Tage im geschlossenen Raume und kamen hierauf ebenfalls ins Freie.

V. Versuchsergebnisse.

Darstellung der Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Prüfungen auf Abbindeverhältnisse, Mahlfeinheit, Ausdehnung und Festigkeit ließen sich ohne weiteres in Tabellenform ziffernmäßig (oder auch zeichnerisch) darstellen. Hierbei sind diejenigen Zahlen und Angaben, welche aus irgend welchem Grunde beeinflußt erschienen, in eckige Klammer gesetzt.

Anders mußte die übersichtliche Darstellung der Ergebnisse der Raumbeständigkeitsproben gestaltet werden. Alle Schäden, welche sich an den einzelnen Proben zeigten, waren in den Protokollen mit Worten beschrieben; die Beschreibungen je dreier Versuchsstellen in Worten so nebeneinander zu ordnen, daß der Vergleich ermöglicht und leichte Uebersichtlichkeit geschaffen wurde, erschien schwer ausführbar.

Ich habe deshalb für die einzelnen an den Kuchen und Kugeln gemachten Beobachtungen bestimmte Zeichen eingeführt, die nach Möglichkeit dem Aussehen der Probestücke angepaßt sind, um sie leicht lesen zu können. Die angewandten Zeichen sind nachfolgend zusammengestellt und in den Tabellen 3 bis 6 dazu verwandt worden, die wörtliche Beschreibung der beobachteten Schäden zu ersetzen. Stärkere bezw. schwächere Risse sind durch stärkere bezw. schwächere Linienzüge in den Figuren dargestellt.

Um den Sinn der Zeichen noch mehr zu verdeutlichen, sind in der Versuchsanstalt einzelne Probestücke der besonders charakteristischen Cemente A und U photographirt und die Bilder auf Taf. I und II zusammengestellt worden. Diese Tafeln bieten folgende Beispiele:

Einführung von Zeichen für die Zusammenstellung der Ergebnisse der beschleunigten Raumbeständigkeitsproben.

Beobachtete Erscheinungen	Eingeführte Zeichen
Bestanden	b
Verkrümmt { nach unten / nach oben	⌒
Feine Netzrisse	#
Starke Netzrisse	#
Einzelne Haarrisse	S
Starke Risse	SS
Koncentrische Risse	◎
Kantenrisse	⊙
Oberfläche mürbe	∿∿
Zerbrochen bezw. aufgeplatzt	‖
Zerkocht	◎
Schwindung	→←

Beispiele der einzelnen Zerstörungserscheinungen.

b **Wohl erhaltene Probe:** Taf. I Fig. 1—4, Taf. II Fig. 17, 18.
" " " aber gesprengte Glasplatte Taf. II Fig. 19.

⊙ **Kantenrisse:** Kuchen Taf. I Fig. 5 und 6, Taf. II Fig. 21, Preßkuchen Taf. I Fig. 10, Taf. II Fig. 30.

S Einzelne feine Haarrisse: Taf. I Fig. 5 und 6.

SS Starke Risse: Taf. II Fig. 28 und 29 und || Aufplatzen der Kugel Taf. I Fig. 7 und Fig. 9, Taf. II Fig. 24 und 25.

Feine Netzrisse: Taf. I Fig. 8, Taf. II Fig. 22, Fig. 23, Fig. 26 und 27.

◎ Koncentrische Risse: Taf. II Fig. 28 und 29.

◎ Theilweises Zerkochen: Taf. I Fig. 12 und 13.

|| Zerbrochen, sowie # starke Netzrisse und ○ starke Kantenrisse: Taf. I Fig. 13, 14 und 15, Taf. II Fig. 31—34.

~~~ Zermürben der Oberfläche: Taf. I Fig. 7 und Fig. 11, Taf. II Fig. 28.

Die nachstehenden Tabellen 1 bis 12 haben folgenden Inhalt:

Tab. 1. Zusammenstellung der von allen Mitgliedern gefundenen Mittelwerthe der Abbindeverhältnisse, unter Zugrundelegung der Nadelproben.

Tab. 2. Zusammenstellung der von allen Mitgliedern gefundenen Mittelwerthe der Versuche auf Feinheit der Mahlung.

Tab. 3. Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten Prüfungen auf Raumbeständigkeit nach 7 Tagen Alter der Proben (Hierzu die Zeichentafel S. 19).

Tab. 4. Ergebnisse der in der Versuchsanstalt ausgeführten Prüfungen auf Raumbeständigkeit, gemäß den Kuchenproben nach den Normen und bei Luftlagerung.

Tab. 4a. Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten Prüfungen auf Raumbeständigkeit, gemäß den Kuchenproben nach den Normen und bei Luftlagerung.

Tab. 5. Ergebnisse der in der Versuchsanstalt ausgeführten Kochprobe nach Michaelis (Beobachtungen bis zu 4 Wochen Alter der Kuchen).

Tab. 5a. Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten Kochproben nach Michaelis (Beobachtungen bis zu 4 Wochen Alter der Kuchen).

Tab. 6. Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten 28 Tage-Prüfung auf Raumbeständigkeit nach den Normen, nach Michaelis und nach Prüßing, und auf Festigkeit der Normenmischung.

Tab. 7. Ergebnisse der in der Versuchsanstalt ausgeführten Versuche auf Längenänderung.

Tab. 7a. Zusammenstellung der Mittelwerthe aus den Versuchen auf Längenänderung (Versuchsanstalt).

Tab. 7b. Zusammenstellung der Mittelwerthe aus den Versuchen auf Längenänderung (alle Mitglieder).

Tab. 8. Zusammenstellung der Mittelwerthe der Versuche auf Zugfestigkeit der Mörtel aus 1 Cement + 1 Rheinsand (Versuchsanstalt).

Tab. 8a. Zusammenstellung der Mittelwerthe der Versuche auf Zugfestigkeit der Mörtel aus 1 Cement + 1 Rheinsand (alle Mitglieder).

Tab. 9. Zusammenstellung der Mittelwerthe der Versuche auf Zugfestigkeit der Mörtel aus 1 Cement + 3 Rheinsand (Versuchsanstalt).

Tab. 9a. Zusammenstellung der Mittelwerthe der Versuche auf Zugfestigkeit der Mörtel aus 1 Cement + 3 Rheinsand (alle Mitglieder).

Tab. 10. Zusammenstellung der Mittelwerthe über den Einfluß der Erhärtungsart auf die Zugfestigkeit der Rheinsandmörtel (Versuchsanstalt).
~~~

Tab. 1. Zusammenstellung der von allen Mitgliedern gefundenen Mittelwerthe der Abbindeverhältnisse, unter Zugrundelegung der Nadelproben.

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am	Wärme des Cementes beim Versuchsbeginn C°	Wärme des Wassers beim Versuchsbeginn C°	Wärme der Luft beim Versuchsbeginn C°	Feuchtigkeit der Luft beim Versuchsbeginn C°	Wasserzusatz Nadelprobe %	Verlauf der Erhärtung: Zeit nach welcher die Wärmeerhöhung beginnt Std.	Min.	Wärmeerhöhung Max. C°	Erhärtungsanfang nach Std.	Min.	Erhärtungsende nach Std.	Min.
Cement-Marke A.													
						Nadelprobe							
Meyer	5. 2. 96	17,9	18,0	19,0	76	25,0	0	0	8,7	—	14	—	33
Schumann	3. 2. 96	17,0	16,0	17,0	55	28,0	—	5	2,0	—	15	—	45
Versuchsanstalt	5. 2. 96	16,5	16,0	17,0	65	26,2	—	7	7	—	11	—	24
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	—	**13**	—	**34**
Cement-Marke B.													
C. Prüßing	5. 2. 96 u. s. w.	17,1	16,8	17,6	67,7	25,0	sofort		8,8	—	25	—	47
Dr. Prüßing	7. 2. 96	16,0	16,0	16,0	Gesättigt, da die Proben im bedeckten Zinkkasten abbanden	24,7	—	17	6,9	—	18	2	7
Versuchsanstalt	11. 2. 96	17,0	17,0	17,0	50	26,0	—	10⅓	2,5	—	28	2	—
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	—	**24**	**1**	**38**
Cement-Marke C.													
Schiffner	5. 2. 96	14,0	12,7	18,7	59,3	25,7	—	1	0,6	4	42	6	50
Schindler	8. 2. 96	16,0	9,5	16,25	—	26,0	—	4	1,3	—	45	6	43
Versuchsanstalt	19. 2. 96	14	14	14,5	65	24	—	6½	1,6	4	40	8	2
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	**3**	**22**	**7**	**12**
Cement-Marke D.													
Schott	21. 2. 96	17,1	16,8	16,6	56	28	—	4	2,6	—	32	2	49
Paulsen	11. 2. 96	15,6	15,8	18,7	57,3	[27,3	sofort		5,0	1	2	4	–]
Versuchsanstalt	28. 2. 96	17,8	17,8	17,8	72	26,5	—	3	6,6	—	4	—	22
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	—	**18**	**1**	**36**
Cement-Marke F.													
Meyer[1]	30. 3. 96	12,9	11,9	12,2	75	25	0	0	6,6	5	55	9	—
Schumann	7. 4. 96	17,0	15,0	17,0	75	28,5	—	1	1,0	6	—	9	—
Versuchsanstalt	5. 3. 96	17,0	17,5	17,5	80	25	—	5	1,7	1	50	5	30
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	**4**	**35**	**7**	**50**
Cement-Marke G.													
Schott	22. 4. 97	19,2	19,0	19,0	68	25	sofort		2,7	1	34	3	34
Paulsen	11. 8. 96	15,3	14,6	15,5	65,3	26,9	[sofort		3,0	4	55	10	20]
Versuchsanstalt	23. 3. 96	17	17	16	75	26	—	10	2,0	1	30	2	54
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	**1**	**32**	**3**	**14**

[1]) Die Nadelproben stoßen nachträglich noch erheblich Wasser ab.

Tabelle 1 (Fortsetzung).

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am	Wärme des Cementes beim Versuchsbeginn	Wärme des Wassers beim Versuchsbeginn	Wärme der Luft beim Versuchsbeginn	Feuchtigkeit der Luft beim Versuchsbeginn	Wasserzusatz Nadelprobe	Verlauf der Erhärtung: Zeit nach welcher die Wärmeerhöhung beginnt		Wärmeerhöhung Max.	Erhärtungsanfang nach		Erhärtungsende nach	
		C°	C°	C°	C°	%	Std.	Min.	C°	Std.	Min.	Std.	Min.
Cement-Marke H.													
Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—	5,9	—	29	1	5
Schumann . .	12. 5. 96	19	16	22	55	28	—	2	2	1	45	3	45
Versuchsanstalt	17. 3. 96	17,5	18,5	18,5	70	24	—	4	3,6	—	9	—	55
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	—	48	1	55
Cement-Marke J.													
C. Prüßing . .	3. 7. 96	17,9	17,8	17,9	70	24,8	sofort		3,9	—	47	1	55
Dr. Prüßing .	17. 4. 96	16	16	16	65	24	[sofort		5	1	41	10	21]
Versuchsanstalt	10. 3. 96	17	17	17	80	25	—	5²/₃	1,5	—	42	2	23
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	—	45	2	9
Cement-Marke L.													
Schiffner . . .	31. 3. 96	16,7	14,0	19,0	70	29,0	sofort		6,8	—	3	—	9
Schindler . . .	27. 3. 96	19,5	14,0	22	—	28	—	2	8,5	—	10	—	25
Versuchsanstalt	13. 3. 96	16	16	16	65	27	—	1²/₃	7,6	—	3	—	10
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—	15
Cement-Marke U.													
C. Prüßing . .	3. 7. 96	18	18	18,5	70	25	sofort		1,6	4	4	7	35
Dr. Prüßing .	20. 5. 96	16	16	16	65	25	[sofort		2,9	4	45	19	13]
Versuchsanstalt	23. 4. 96	17	17	17	60	24	—	7½	1,5	4	33	6	26
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—	4	19	7	1

Tab. 11. Ergebnisse der Beobachtung der zehn Cemente unter dem Witterungseinfluß (Proben in Amöneburg).

Tab. 12. Ergebnisse der chemischen Analysen.

A. Allgemeine Eigenschaften der Cemente.

a. Abbindeverhältnisse.

Die Abbindezeiten und Abbindeverhältnisse jeder Cementmarke (Tab. 1) zeigen, an verschiedenen Versuchsstellen ermittelt, erhebliche Schwankungen.

Diese können herrühren:

1. Von dem Unterschiede zwischen der Zeit der Herstellung bezw. Einlieferung des Cementes und der Zeit der Versuchsausführung.
2. Von abweichenden Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnissen, unter denen die Versuche ausgeführt sind.
3. Von der an verschiedenen Stellen verschieden gewählten Menge des Wasserzusatzes zum Cement.
4. Von der Zeitdauer für das Umrühren des Cementbreies, oder dem Arbeitsaufwand, der insofern von Einfluß ist, als derselbe Cement bei sehr kräftigem

Tab. 2. **Zusammenstellung der von allen Mitgliedern gefundenen Mittelwerthe der Versuche auf Feinheit der Mahlung.**

Versuchsstelle	Rückstand im Mittel auf 5000 Maschen	Rückstand im Mittel auf 900 Maschen	Versuchsstelle	Rückstand im Mittel auf 5000 Maschen	Rückstand im Mittel auf 900 Maschen
Cement-Marke A.			Cement-Marke G.		
Meyer	17,4	0,5	Schott	32,2	2,0
Schumann . .	21,0	2,2	Paulsen	33,1	6,3
Versuchsanstalt	12,0	0,6	Versuchsanstalt	24,0	4,0
Mittel	16,8	1,1	Mittel	29,8	4,1
Cement-Marke B.			Cement-Marke H.		
C. Prüßing . .	21,3	4,4	Meyer	19,0	4,5
Dr. Prüßing .	20,8	2,9	Schumann . .	26,4	4,8
Versuchsanstalt	18,0	4,0	Versuchsanstalt	14,0	4,0
Mittel	20,0	8,7	Mittel	19,8	4,4
Cement-Marke C.			Cement-Marke J.		
Schiffner . . .	31,3	7,1	C. Prüßing . .	30,1	5,6
Schindler . . .	30,6	3,0	Dr. Prüßing .	32,8	3,4
Versuchsanstalt	24,0	2,0	Versuchsanstalt [1]	24,0	2,0
Mittel	28,6	4,0	Mittel	27,8	8,7
Cement-Marke D.			Cement-Marke L.		
Schott	14,5	0,6	Schiffner . . .	20,9	3,5
Paulsen	16,5	1,9	Schindler . . .	26,1	2,6
Versuchsanstalt	10,0	2,0	Versuchsanstalt	20,0	2,0
Mittel	13,7	1,5	Mittel	22,3	2,7
Cement-Marke F.			Cement-Marke U.		
Meyer	17,3	0,5	C. Prüßing . .	19,8	2,0
Schumann . . .	18,4	2,0	Dr. Prüßing .	26,2	2,0
Versuchsanstalt	12,0	0,0	Versuchsanstalt	18,0	2,0
Mittel	15,9	0,8	Mittel	20,7	2,0

[1] Auf dem 20-Maschensiebe blieben erbsengroße Stückchen ungemahlenen Cementes zurück.

Rühren mit weniger Wasser in derselben Zeit zu dem gleichen Grade der Verflüssigung gebracht werden kann, als bei weniger starker Bearbeitung und größerem Wasserzusatz.

5. Von der verschiedenen Beurtheilung desjenigen Zeitpunktes, an dem ein Eindruck der Nadel auf dem Cementkuchen als „noch vorhanden" erkannt wird.

Unter Berücksichtigung aller dieser Ursachen, von denen jede für sich die Abbindezeit beeinflussen kann, werden die theilweise sehr erheblichen Abweichungen in der Abbindezeit erklärlich.

Um an verschiedenen Versuchsstellen zu vergleichbaren Werthen hinsichtlich der Abbindezeit zu gelangen, ist es durchaus nothwendig, die Versuche bei gleicher Wärme der Luft, des Anmachewassers und des Cementes, bei gleicher Luftfeuchtigkeit, sowie namentlich bei gleichem Wasserzusatze und gleicher Stärke und Dauer des Umrührens des Cementbreies in völlig übereinstimmender Weise auszuführen. Vorschriften hierfür bestehen, abgesehen von den

Tabelle 3. Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten

(Erklärung der

Raum-

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am:	Proben bei Zimmerwärme 24 Stunden in feuchter Luft, dann								Darrprobe	
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach		Kuchen mit dünnen Rändern	Kuchen mit abgerundeten Rändern
		Ränder der Kuchen								24 Stunden in feuchter Luft erhärtet. Bei 100 C° in mit kochendem Wasser geheiztem Luftbad auf einer Metallplatte gedarrt, bis keine Wasserdämpfe mehr entweichen (ca. 3 Stunden)	
		dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund		
											Cement-
Meyer	5. 2. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	⊙
Schumann	1. 2. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	⊙	b
Versuchsanstalt	5. 2. 96	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst. Schwach gebogen S	—	—	—	b	b	S	1 # 1 ⊙	b
											Cement-
C. Prüßing	5. 2. 96[1]	[b	Einige Kuchen von den Platten gelöst	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst		b	b	b	b	b
Dr. Prüßing	7. 2. 96	Einige Kuchen waren von den Platten gelöst 1 ⌒	2 ⌒	1 ⌒	1 ⌒	4 ⌒	4 ⌒	1 ⌒	b	b	b
Versuchsanstalt	11. 2. 96	[1 ⊙]	[1 ⊙]	b	b	b	b	b	1 ⊙	b	b
											Cement-
Schiffner	5. 2. 96	b	b	b	b b b Einige Kuchen von den Platten gelöst			b	b	b	b
Schindler	8. 2. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	19. 2. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
											Cement-
Schott	20. 2. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Paulsen	11. 2. 96[2]	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst —	—	—	b	—	—	b	b	[1 ⊙] 1 b	b
Versuchsanstalt	28. 2. 96	—	—	—	—	—	—	—	—	Nicht ausgeführt, Kochprobe bestan-	

[1]) Die letzten Proben wurden erst am 4. April 1896 angemacht. [2]) Die letzten Proben wurden erst am 9. März 1896

Prüfungen auf Raumbeständigkeit nach 7 Tagen Alter der Proben.

Zeichen s. S. 19.)

beständigkeit.

Heintzelsche Kugelprobe (Glühprobe)	Kochprobe nach Michaelis		Kugelprobe nach Tetmajer	Heißwasserprobe nach Maclay						Preßkuchenprobe nach Prüßing
				6 Kuchen von der Glasplatte losgelöst						
	Dünne Kuchen mit dünn auslaufenden Rändern	Dicke Kuchen mit dicken, abgerundeten Rändern		1 Kuchen sofort nach dem Gießen	1 Kuchen nach dem Abbinden	1 Kuchen nach der doppelten Abbindezeit	1 Kuchen nach 24 Stunden	1 Kuchen nach dem Abbinden in frisches Wasser von etwa 15 C°	1 Kuchen in feuchter Luft von etwa 15 C° gehalten	
Kugeln auf eine Gipsplatte gelegt, bis sie hart sind (ca. 5 Minuten). Auf dünner Eisenblechplatte über Bunsenbrenner erhitzt. Spitze der Flamme soll die Platte erst nicht erreichen. Nach 1½ Stunden wird die Flamme gesteigert, bis sie die volle Fläche bestreicht 2 Stunden lang erhitzt	24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 10 Minuten zum Kochen gebracht und 3 Stunden gekocht		Kugeln 24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 1¼ Stunden zum Kochen gebracht und 6 Stunden gekocht	3 Stunden in ein Dampfbad von 90—95 C°, dann 21 Stunden lang in kochendes Wasser						4 Kuchen sogleich aus der Form genommen, 24 Stunden in einem Kasten geg. Ausdünstung geschützt u. dann in kalt. Wasser gelegt 2 Kuchen nach 2 Stunden aus dem Wasser genommen u. in ein Wasserbad von 90—100 C° gelegt. Nach 4- u. 24-stünd. Aufenthalt im heißen Wasser zu beobachten
Marke A.										
S ‖	#	◎	S#S	#	#	#	#	b	b	◎
SS	—	◎	S ‖	#	#	#	#	b	b	◎
S ‖	◎	◎	S ‖	#	#	#	#	⌒	b	◎
Marke B.										
b	#	#	b	#	b	b	b	b	b	#]
S	#	#	b	#	#	#	#	b	b	#
b	#	#	#	#	○	b	◎○	⌒	SS	○
Marke C.										
b	b	b	b	S	b	b	b	b	b	b
b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	○
b	b	b	SS	◎	○	○	○◎	b	○	⌒
Marke D.										
b	#	#	#	#	#	#	#	—	—	#
b	#	#	#	a	◎	◎	#	b	b	#
weil den	b	b	Nicht ausgeführt, weil Kochprobe bestanden							

angemacht.

Tabelle 3

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am:	Proben bei Zimmerwärme 24 Stunden in feuchter Luft, dann								Darrprobe	
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach		Kuchen mit dünnen Rändern	Kuchen mit abgerundeten Rändern
		Ränder der Kuchen								24 Stunden in feuchter Luft erhärtet. Bei 100 C° in mit kochendem Wasser geheiztem Luftbad auf einer Metallplatte gedarrt, bis keine Wasserdämpfe mehr entweichen (ca. 3 Stunden)	
		dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund		
											Cement-
Meyer	30. 3. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	V. d. Platte gelöst b
Schumann	7. 4. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	5. 3. 96	Einige Kuchen von den Platten gelöst				b	b	b	b	1 ○	⊙
											Cement-
Schott	22. 4. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Paulsen[1])	11. 8. 96	[b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	20. 3. 96	b	b	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst					b	b
											Cement-
Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schumann	12. 5. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	17. 3. 96	Kuchen von den Platten losgelöst								b	b
											Cement-
C. Prüßing	12. 5. 96[2])	[b	b	b	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst	Sämmtl. Kuchen von den Platten gelöst	b	b	b	b
Dr. Prüßing	17. 4. 96	b	b	b	b	b	Gelöst 1 ⌒	Alle Kuchen gelöst ⌒	⌒	⌒	⌒
Versuchsanstalt	10. 3. 96	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst —	—	b	—	b	b	b	—	1 ∫∫ b	b

[1]) Die Versuche sind zu spät ausgeführt worden. [2]) Die letzten Proben wurden erst am 5. August 1896 angemacht.

(Fortsetzung).

Heintzelsche Kugelprobe (Glühprobe)	Kochprobe nach Michaelis		Kugelprobe nach Tetmajer	Heißwasserprobe nach Maclay						Preßkuchenprobe nach Prüßing
				6 Kuchen von der Glasplatte losgelöst						
Kugeln auf eine Gipsplatte gelegt, bis sie hart sind (ca. 5 Minuten). Auf dünner Eisenblechplatte über Bunsenbrenner erhitzt. Spitze der Flamme soll die Platte erst nicht erreichen. Nach $1^1/_2$ Stunden wird die Flamme gesteigert, bis sie die volle Fläche bestreicht 2 Stunden lang erhitzt	Dünne Kuchen mit dünn auslaufenden Rändern	Dicke Kuchen mit dicken, abgerundeten Rändern	Kugeln 24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in $1^1/_4$ Stunden zum Kochen gebracht und 6 Stunden gekocht	1 Kuchen sofort nach dem Gießen	1 Kuchen nach dem Abbinden	1 Kuchen nach der doppelten Abbindezeit	1 Kuchen nach 24 Stunden	1 Kuchen nach dem Abbinden in frisches Wasser von etwa 15 C°	1 Kuchen in feuchter Luft von etwa 15 C° gehalten	4 Kuchen sogleich aus der Form genommen, 24 Stunden in einem Kasten geg. Ausdünstung geschützt u. dann in kalt Wasser gelegt
	24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 10 Minuten zum Kochen gebracht und 3 Stunden gekocht			3 Stunden in ein Dampfbad von 90 – 95 C°, dann 21 Stunden lang in kochendes Wasser						2 Kuchen nach 2 Stunden aus dem Wasser genommen u. in ein Wasserbad von 90—100 C° gelegt. Nach 4- u. 24-stünd. Aufenthalt im heißen Wasser zu beobachten

Marke F.

b	Von der Platte gelöst		b	SS				—	—
b	b	b	b	SS	SS	SS	SS		b
#			#		#	#	#	b	b

Marke G.

b	#	#	b	SS	#	#	#	—	—	#
b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	—]
b	#		#	SS	#		#	b	S	#

Marke H.

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
b	b	b	b	S	b	S	b	S	b	b
b	#	#	#	SS	S		#	b	b	#

Marke J.

b	#	#	b	b		b	b	b	b	#]
b	#	#	#	b	⌣	⌣	⌣	b	b	#
b	#	#	#	#	#	#	#	b	b	‖

Tabelle 3

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am:	Proben bei Zimmerwärme 24 Stunden in feuchter Luft, dann								Darrprobe	
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach		Kuchen mit dünnen Rändern	Kuchen mit abgerundeten Rändern
		Ränder der Kuchen								24 Stunden in feuchter Luft erhärtet. Bei 100 C° in mit kochendem Wasser geheiztem Luftbad auf einer Metallplatte gedarrt, bis keine Wasserdämpfe mehr entweichen (ca. 3 Stunden)	
		dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund	dünn auslaufend	dick, rund		
Cement.											
Schiffner	31. 3. 96	Sämmtliche Kuchen von der Platte gelöst								b	b
Schindler	27. 3. 96	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	13. 3. 96	b	b	b	b	b	b	Alle Kuchen gelöst		b	b
Cement.											
C. Prüßing	2. 7. 96	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst		b	b	b	b	b
Dr. Prüßing	20. 5. 96	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst				b	b	Einige gelöst	Alle gelöst	b	b
Versuchsanstalt	14. 4. 96	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst								#	#

unzureichenden Angaben der Normen noch nicht. Bei dem Umfange der zunächst zu erledigenden Arbeiten hat die Kommission die Frage der Vereinheitlichung der Abbindeversuche einstweilen unerörtert gelassen, behält sich indessen vor, später entsprechende Versuche auszuführen und — wenn möglich — geeignete Vorschläge zu machen.

Da nach Ausweis der Protokolle auch die Ergebnisse der Abbindekuchenproben von denen der Nadelproben theilweise erheblich abweichen, ist auf die Mittheilung der Ergebnisse der Kuchenproben — als der unzuverlässigeren, die auch die Bestimmung des Erhärtungsanfanges nicht zuläßt — in der Tab. 1 verzichtet worden.

Will man alle Versuche mit der Nadel als gleichwerthig ansehen und bildet man die Mittelwerthe aus den an drei Versuchsstellen durch die Nadelprobe gefundenen Abbindezeiten, so stellen sich vier Cemente (A, B, H, L) als raschbindende und sechs (C, G, F, D, J, U) als langsam bindende Cemente dar. Nach den Ergebnissen der Versuchsanstalt würden die Cemente A, B, D, H und L als schnell bindende, die übrigen als langsam bindende anzusehen sein.

Während des Verlaufes des Abbindens trat die Wärmeerhöhung selbst bei den langsam bindenden Cementen entweder sofort nach dem Anmachen der Cementkuchen oder nur kurze

(Fortsetzung).

Heintzelsche Kugelprobe (Glühprobe)	Kochprobe nach Michaelis		Kugelprobe nach Tetmajer	Heißwasserprobe nach Maclay						Preßkuchenprobe nach Prüßing
				6 Kuchen von der Glasplatte losgelöst						
Kugeln auf eine Gipsplatte gelegt, bis sie hart sind (ca. 5 Minuten). Auf dünner Eisenblechplatte über Bunsenbrenner erhitzt. Spitze der Flamme soll die Flamme erst nicht erreichen. Nach 1½ Stunden wird die Flamme gesteigert, bis sie die volle Fläche bestreicht 2 Stunden lang erhitzt	Dünne Kuchen mit dünn auslaufenden Rändern	Dicke Kuchen mit dicken, abgerundeten Rändern	Kugeln 24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 1¼ Stunden zum Kochen gebracht und 6 Stunden gekocht	1 Kuchen sofort nach dem Gießen	1 Kuchen nach dem Abbinden	1 Kuchen nach der doppelten Abbindezeit	1 Kuchen nach 24 Stunden	1 Kuchen nach dem Abbinden in frisches Wasser von etwa 15 C°	1 Kuchen in feuchter Luft von etwa 15 C° gehalten	4 Kuchen sogleich aus der Form genommen, 24 Stunden in einem Kasten geg. Ausdünstung geschützt u. dann in kalt. Wasser gelegt. 2 Kuchen nach 2 Stunden aus dem Wasser genommen u. in ein Wasserbad von 90—100 C° gelegt. Nach 4- u. 24-stünd. Aufenthalt im heißen Wasser zu beobachten
	24 Stunden in feuchter Luft erhärtet, in einem Wasserbade in 10 Minuten zum Kochen gebracht und 3 Stunden gekocht			3 Stunden in ein Dampfbad von 90—95 C°, dann 21 Stunden lang in kochendes Wasser						
Marke L.										
b	b	b	b	a b	#	#	b	b	b	# ‖
b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	# ⊙ ~
S	# ⊙ ⌒	# ⊙ ⌒	SS	b	b	b	# ⊙	b	b	# ⊙ ‖ ~ ⌒
Marke U.										
b	# ⊙ ⌒	# ⊙ ⌒	b	S	b	b	b	b	b	# ⊙
b	# ⊙	# ⊙	#	SS	⌒	⌒	⌒	b	b	#
SS	# ~ ⊙ ⌒	# ~ ⊙ ⌒	# ~	#	# ⊙ ⌒	# ⊙ ⌒	# ⊙ ⌒	b	b	⊙ ~ ⌒

Zeit darauf ein; sie entsprach dem Grade nach dem mehr oder weniger schnellen Verlauf des Abbindeprocesses. Die auch in Bezug auf Wärmeerhöhung an verschiedenen Stellen gefundenen verschiedenen Werthe sind vermuthlich vorwiegend auf die Unterschiede im Wasserzusatz zurückzuführen. Bei Ablesung der Wärmeerhöhung ist zu berücksichtigen, ob auch die Wärme der umgebenden Luft eine Veränderung erfährt.

Aus den Versuchsreihen kann allgemein geschlossen werden, daß das Verfahren der Bestimmung der Abbindezeit von Portlandcement dringend einheitlicher Regelung bedarf.

β. Mahlfeinheit.

Die für die Mahlfeinheit der einzelnen Cemente an verschiedenen Versuchsstellen gefundenen Werthe (Tab. 2) stimmen ziemlich überein. Wenigstens sind die vorkommenden Abweichungen für die Beurtheilung der Feinheit der Cemente nicht von Belang.

Die gröbsten sind die Cemente C, G und J, die auf dem 5000-Maschensiebe im Mittel 28,6 %, 29,8 %, und 27,8 % Rückstand hinterlassen haben. Der feinstgemahlene ist Cement D mit 13,7 % Rückstand auf 5000 Maschen.

Tab. 4. Ergebnisse der in der Versuchsanstalt ausgeführten Prüfung auf Raumbeständigkeit.

Kuchenproben nach den Normen und bei Luftlagerung.

Alter der Proben	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
	nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien	
	Ränder der Kuchen							
	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke A.								
7 Tage	b	S	Einige Kuchen von der Platte gelöst. Schwach gebogen			b	b	S
28 Tage	Alle Kuchen von den Platten gelöst Schwach gebogen							
3 Monate	desgl.							
1 Jahr	desgl.						⊙	⊙
2 Jahre	desgl.						⊙	⊙
Cement-Marke B.								
7 Tage	[1⊙	1⊙]	b	b	b	b	b	1⊙
28 Tage	Wie bei sieben Tagen						b	1⊙
3 Monate	desgl.		Von der Platte gelöst				#⊙	#⊙
1 Jahr	Wie bei drei Monate alten Proben						#⊙	#⊙
2 Jahre	desgl.						#⊙	#⊙
Cement-Marke C.								
7 Tage	b	b	b	b	b	b	b	b
28 Tage	b	2 lose	b	b	b	b	⊙#	1⊙
3 Monate	lose	lose	b	b	b	b	⊙	1⊙
1 Jahr	lose	lose	b	b	b	b	⊙	⊙#
2 Jahre	lose	lose	b	b	b	b	⊙	⊙#
Cement-Marke D.								
7 Tage 28 Tage 3 Monate 1 Jahr 2 Jahre	Nicht ausgeführt, weil die Kochprobe bestanden wurde							
Cement-Marke F.								
7 Tage	Kuchen von den Platten gelöst				b	b	b	b
28 Tage	desgl.				b	b	lose	
3 Monate	desgl.				b	b	desgl.	
1 Jahr	desgl.				b	b	⊙#	⊙#
2 Jahre	desgl.				b	b	⊙#	⊙#

Tabelle 4 (Fortsetzung).

Alter der Proben	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
	nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien	
	Ränder der Kuchen							
	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke G.								
7 Tage	b	b	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst				
28 Tage	Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	desgl.							
1 Jahr	desgl.						⊙	⊙
2 Jahre	desgl.						⊙	⊙
Cement-Marke H.								
7 Tage	Kuchen von den Platten gelöst							
28 Tage	desgl.							
3 Monate	desgl.							
1 Jahr	desgl.						⊙	⊙
2 Jahre	desgl.						⊙	⊙
Cement-Marke J.								
7 Tage	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
	b			b	b		b	
28 Tage	Sämmtliche Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	desgl.							
1 Jahr	desgl.						⊙	⊙
2 Jahre	desgl.						⊙	⊙
Cement-Marke L.								
7 Tage	b	b	b	b	b	b	lose	lose
28 Tage	Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	desgl.						2⊙	1⊙
1 Jahr	desgl.						⊙	⊙
2 Jahre	desgl.						⊙	⊙
Cement-Marke U.								
7 Tage	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
28 Tage	desgl.						Sämmtl. Kuchen gelöst ⊙	⊙
3 Monate	desgl.						desgl.	
1 Jahr	desgl.						desgl.	
2 Jahre	desgl.							

Tab. 4a. Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten Prüfung auf Raumbeständigkeit.

Kuchenproben nach den Normen und bei Luftlagerung.

Alter der Proben	Versuchsstelle	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke A.									
7 Tage	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst, Schwach gebogen			—	b	b	S
28 Tage	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	Einige Kuchen von den Platten gelöst							
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst und schwach gebogen							
3 Monate	Schumann . .	b	b	b	b	~	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst und schwach gebogen							
1 Jahr	Schumann . . .	b	b	b	b	~	~	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Wie nach drei Monaten						⊙	⊙
2 Jahre	Schumann . .	b	b	b	b	~	~	b	b
	Meyer	b	b	b	b	b	b	◎	~
	Versuchsanstalt	Wie nach drei Monaten						⊙	⊙
Cement-Marke B.									
7 Tage	C. Prüßing[1]) .	[Kuchen von den Platten gelöst]							
	Dr. Prüßing .	Einige Kuchen von den Platten gelöst							b
		1 ⌒	2 ⌒	1 ⌒	1 ⌒	⌒	⌒	1 ⌒	
	Versuchsanstalt	[1 ⊖	1 ◯]	b	b	b	b	b	1 ⊖
28 Tage	C. Prüßing . .	[Kuchen von den Platten gelöst]							
	Dr. Prüßing .	Einige Kuchen gelöst		Alle Kuchen von den Platten gelöst					b
		⌒	⌒	⌣	⌣	⌣	⌣	2 ⌣	
	Versuchsanstalt	[1 ⊖	1 ⊖]	b	b	b	b	b	1 ⊖
3 Monate	C. Prüßing . .	Kuchen von den Platten gelöst							
	Dr. Prüßing .	Wie nach 28 Tagen		→←	→←	b	b	1 ⌒	b
	Versuchsanstalt	1 ⊖	1 ⊖	Von den Platten gelöst				# ⊖	# ⊖
1 Jahr	C. Prüßing . .	Wie nach drei Monaten							
	Dr. Prüßing .	Wie nach 28 Tagen		→←	→←	b	b	1 ⌒	b
	Versuchsanstalt	Wie nach drei Monaten						# ⊖	# ⊖
2 Jahre	C. Prüßing . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Dr. Prüßing .	Wie nach 28 Tagen		→←	→←	b	b	1 ⌒	b
	Versuchsanstalt	Wie nach drei Monaten						# ⊖	# ⊖

[1]) Proben theilweise zu spät angemacht.

Tabelle 4a (Fortsetzung).

Alter der Proben	Versuchsstelle	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke C.									
7 Tage	Schiffner . . .	b	b	b	Einige K. von den Platten gelöst			b	b
	Schindler[1]) . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	b	b	b	b	b	b	b	b
28 Tage	Schiffner . . .	2 Kuchen gelöst	Alle Kuchen von den Platten gelöst						
	Schindler[1]) . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	b	2 Kuchen gelöst	b	b	b	b	⊙ #	1 ⊙
3 Monate	Schiffner . . .	Wie nach 28 Tagen							
	Schindler[1]) . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	lose	lose	b	b	b	b	⊙	1 ⊙
1 Jahr	Schiffner . . .	Wie nach 28 Tagen							
	Schindler[1]) . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	lose	lose	b	b	b	b	⊙	# ⊙
2 Jahre	Schiffner . . .	Wie nach 28 Tagen							
	Schindler[1]) . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	Wie nach einem Jahre							
Cement-Marke D.									
7 Tage	Paulsen	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
	Schott	—	—	—	b	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	b	b	b	b	b	b	b	b
		—	—	—	—	—	—	—	—
28 Tage	Paulsen	Alle Kuchen von den Platten gelöst						b Untere Fläche rissig	b
	Schott	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
		b	b	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	—	—	—	—	—	—	—	—
3 Monate	Paulsen	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
	Schott	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
	Versuchsanstalt	—	—	—	—	—	—	—	—
1 Jahr	Paulsen	Wie nach drei Monaten							
	Schott	Wie nach drei Monaten							
	Versuchsanstalt	—	—	—	—	—	—	—	—
2 Jahre	Paulsen	Wie nach drei Monaten							
	Schott	Wie nach drei Monaten							
	Versuchsanstalt	—	—	—	—	—	—	—	—

[1]) Fast sämmtliche Kuchen zeigten auf der unteren Seite größere Risse (Schwindrisse?).

Tabelle 4a (Fortsetzung).

Alter der Proben	Versuchsstelle	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke F.									
7 Tage	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	Einige Kuchen von den Platten gelöst				b	b	b	b
28 Tage	Schumann . . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
		—	—	—	—	b	b	—	—
3 Monate	Schumann . . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
		—	—	—	—	b	b	—	—
1 Jahr	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst				b	b	⊙#	⊙#
2 Jahre	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst				b	b	⊙#	⊙#
Cement-Marke G.									
7 Tage	Paulsen[1] . . .	[b	b	b	b	b	b	b	b]
	Schott	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	b	b	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst				
28 Tage	Paulsen	b	b	Alle Kuchen von den Platten gelöst					
	Schott	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	Paulsen	b	b	Alle Kuchen von den Platten gelöst					
	Schott	b	b	Kuchen von den Platten gelöst					
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
1 Jahr	Paulsen	b	⊙	Alle Kuchen von den Platten gelöst					
	Schott	Wie nach drei Monaten							
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst						⊙	⊙
2 Jahre	Paulsen	—	—	—	—	—	—	—	—
	Schott	Wie nach drei Monaten							
	Versuchsanstalt	Wie nach einem Jahre							

[1]) Proben zu spät angemacht.

Tabelle 4a (Fortsetzung).

Alter der Proben	Versuchsstelle	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke H.									
7 Tage	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer[1])	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
28 Tage	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
1 Jahr	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	—	—	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst						⊙	⊙
2 Jahre	Schumann . .	b	b	b	b	b	b	b	b
	Meyer	b	b	b	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	Wie nach einem Jahre							
Cement-Marke J.									
7 Tage	C. Prüßing[2]) .	[b	b	b	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst	Sämmtliche Kuchen von den Platten gelöst	b	b]
	Dr. Prüßing .	b	b	b	b	b	Gelöst 1 ⌒	Alle Kuchen gelöst ⌒	⌒
	Versuchsanstalt	—	—	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst b	—	b	b	b	—
28 Tage	C. Prüßing . .	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
	Dr. Prüßing .	→←	→←	→←	⌒	→←	—	b	b
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	C. Prüßing . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Dr. Prüßing .	→←	→← 1 ⌒	→←	⌒	→←	—	1 ⌒	1 ⌒
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
1 Jahr	C. Prüßing . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Dr. Prüßing .	→←	→← 1 ⌒	→←	1 ⌒	→←	1 ⌒	3 ⌒	⌒
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst						⊙	⊙
2 Jahre	C. Prüßing . .	—	—	—	—	—	—	—	—
	Dr. Prüßing .	→←	→← 1 ⌒	→←	1 ⌒	→←	1 ⌒	→← ⌒	→← ⌒
	Versuchsanstalt	Wie nach einem Jahre							

[1]) Der Cement H wurde nicht untersucht, weil er alle beschleunigten Proben ausgehalten hatte.
[2]) Proben theilweise zu spät angemacht.

Tabelle 4a (Fortsetzung).

Alter der Proben	Versuchsstelle	Die Kuchen erhärteten 24 Stunden bei Zimmerwärme in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-Marke L.									
7 Tage	Schiffner . . .	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
	Schindler . . .	b	b	b	b	b	b	∿	∿
	Versuchsanstalt	b	b	b	b	b	b	Alle Kuchen gelöst	
28 Tage	Schiffner . . .	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
	Schindler . . .	b	b	b	b	b	b	∿	∿
	Versuchsanstalt	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	Schiffner . . .	Wie nach 28 Tagen							
	Schindler . . .	b	b	b	b	b	b	∿	∿
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst						2 ⊙	1 ⊙
1 Jahr	Schiffner . . .	Wie nach 28 Tagen							
	Schindler . . .	b	b	b	b	b	b	∿	∿
	Versuchsanstalt	Kuchen von den Platten gelöst						⊙	⊙
2 Jahre	Schiffner . . .	Wie nach 28 Tagen							
	Schindler . . .	b	b	b	b	b	b	∿	∿
	Versuchsanstalt	Wie nach einem Jahre							
Cement-Marke U.									
7 Tage	C. Prüßing . .	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst	b	Einige Kuchen von den Platten gelöst	Ein Kuchen von der Platte gelöst	b	b	b
	Dr. Prüßing .	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst				b	b	Einige gel. ⌒	Alle gelöst ⌒
	Versuchsanstalt	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
28 Tage	C. Prüßing . .	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst						b	b
	Dr. Prüßing .	ſſ	—	—	—	—	—		
	Versuchsanstalt	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
		—	—	→←	⌒	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	⊙	⊙
		Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
3 Monate	C. Prüßing . .	Wie nach 28 Tagen							
	Dr. Prüßing .	Wie nach 28 Tagen							
		—	1 ⌒	—	—	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	Wie nach 28 Tagen							
1 Jahr	C. Prüßing . .	Wie nach 28 Tagen							
	Dr. Prüßing .	—	→← 1 ⌒	1 →← 2 ⌒	2 ⌒	—	2 ⌒	→← 2 ⌒	⌒
	Versuchsanstalt	Wie nach 28 Tagen							
2 Jahre	C. Prüßing . .	Wie nach 28 Tagen							
	Dr. Prüßing .	—	→← ⌒	→← ⌒	→← ⌒	→←	⌒	→← ⌒	→← ⌒
	Versuchsanstalt	Wie nach 28 Tagen							

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS.

Tab. 5. **Ergebnisse der Versuchsanstalt bei der Kochprobe nach Michaelis**
(Dünne und dicke Kuchen bis zu 4 Wochen Alter.)

Cement-Marke		Ergebnisse der Kochprobe nach				
		24 Stunden	1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen
A	dünn	◎	◎	◎	⌣⊙#	⌣⊙#
	dick	◎	◎	⌣⊙#	⌣⊙#	⌣⊙#
B	dünn	⊙#	⊙#	1⊙	b	b
	dick	⊙#	⊙#	1⊙	⊙	S
C	dünn	b	b	b	b	b
	dick	b	b	b	b	b
D	dünn	b	b	b	b	b
	dick	b	b	b	b	b
F	dünn	⌢⊙#	⌢⊙#	⊙#	b	b
	dick	⌢⊙#	⌢⊙#	⊙	b	b
G	dünn	⊙#	⌢#	⊙#	⊙#	SS⊙
	dick	#	⊙	⊙#	⊙#	b
H	dünn	⊙#	⊙#	⊙	⊙	b
	dick	⊙#	⊙#	S	b	b
J	dünn	‖ #⊙〰	⊙#〰	⊙#	⊙#	#
	dick	#⊙〰	⊙#〰	⊙#	⊙#	#
L	dünn	⌢#⊙	⌢#⊙	⊙	⊙#	b
	dick	⌢#⊙	⌢#⊙	⊙	b	b
U	dünn	⌢#⊙〰	⌢#⊙〰	⌢⊙#	⌢⊙#	⌢⊙#
	dick	⌢#⊙〰	⌢#⊙〰	⌢⊙#	⌢⊙#	⌢⊙#

Die Ergebnisse der Versuchsanstalt weisen auf dem 5000-Maschensiebe bei allen Cementen und auf dem 900-Maschensiebe bei einigen Cementen geringere Rückstände auf, als sie an anderen Versuchsstellen gefunden wurden, was vielleicht auf die bereits oben erwähnte Benutzung von Kügelchen auf dem 5000-Maschensiebe und die schärfere Siebung zurückzuführen ist [1]).

γ. Raumbeständigkeit.

a. Raumbeständigkeit nach 7 Tagen (Tab. 3):

Die Ergebnisse aller Versuche auf Raumbeständigkeit, die entweder je nach der Vorschrift unmittelbar nach dem Abbinden und Erhärten oder einige Zeit (bis zu 7 Tagen) nach dem Anmachen beobachtet wurden, sind im Allgemeinen an den drei Versuchsstellen nahezu übereinstimmend.

Abweichungen, die sich in den Beobachtungen einer Versuchsstelle gegen die der anderen bemerkbar machen, sind wohl nur auf den Umstand zurückzuführen, daß die Cemente nicht, wie vereinbart worden war, stets unmittelbar nach Einlieferung zur Prüfung gelangten, sondern vielfach längere Zeit aufbewahrt wurden, bevor mit den Versuchen begonnen wurde.

Bei einigen Cementen, die innerhalb weniger Wochen an verschiedenen Stellen geprüft wurden, ist der Einfluß der längeren Lagerung, obgleich die Cemente zumeist wohl in den zur Versendung benutzten verlötheten Blechbüchsen aufbewahrt wurden, aus der Abnahme der Zer-

[1]) Neuerdings werden derartige Kügelchen für die Siebversuche nicht mehr verwendet.

Tab. 5a. **Ergebnisse aller Mitglieder bei der Kochprobe nach Michaelis.**
(Beobachtungen bis zu 4 Wochen Alter der dünnen Kuchen.)

Cement-Marke	Versuchsstelle	Ergebnisse der Kochprobe nach				
		24 Stunden	1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen
A	Meyer	—	—	—	—	# ∿∿
	Schumann	◎	# ⚇	⚇	⚇ schwach	⚇ sehr fein
	Versuchsanstalt	◎	◎	◎	⌣ ⚇ #	⌣ ⚇ #
B	C. Prüßing	# ⚇	⚇	⚇	#	b
	Dr. Prüßing	#	# schwach	b	b	b
	Versuchsanstalt	⚇ #	⚇ #	1 ⚇	b	b
C	Schiffner	#	b	b	b	b
	Schindler	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	b	b	b	b	b
D	Schott	# ∿∿	#	# ⌢	# ⌢	# ⌢
	Paulsen	# ⌣	# ⌢	# ⌢	# ⌢ wenig	⌢ wenig
	Versuchsanstalt	b	b	b	b	b
F	Meyer	—	—	—	—	—
	Schumann	b	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	⌢ ⚇ #	⌢ ⚇ #	⚇ #	b	b
G	Schott	#	#	b	b	b
	Paulsen	b	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	⚇ #	⌢ #	⚇ #	⚇ #	∽ ⚇
H	Meyer	b	b	b	b	b
	Schumann	b	—	—	—	—
	Versuchsanstalt	⚇ #	⚇ #	⚇	⚇	b
J	C. Prüßing	# ⚇ ⌢	# ⚇ ⌣	# ⚇ ⌣	b	b
	Dr. Prüßing	# ⚇	⚇	b	b	b
	Versuchsanstalt	‖ # ⚇ ∿∿	# ⚇ ∿∿	⚇ #	⚇ #	#
L	Schiffner	#	b	b	#	b
	Schindler	b	b	b	b	b
	Versuchsanstalt	⌢ # ⚇	⌢ # ⚇	⚇	⚇ #	b
U	C. Prüßing	# ⚇ ⌣	# ⚇ ⌢	# ⚇ ⌢	⌢	⌢
	Dr. Prüßing	#	#	—	—	—
	Versuchsanstalt	⌢ # ⚇ ∿∿	⌢ # ⚇ ∿∿	⚇ #	⌢ ⚇ #	⌢ ⚇ #

störungserscheinungen bei den meisten Raumbeständigkeitsproben deutlich ersichtlich, welche Thatsache um so weniger befremden kann, als vermuthlich die meisten Cemente frisch von der Mühle weg, ohne Lagerung eingeliefert wurden.

So hat z. B. Cement D, der in der Versuchsanstalt nur 8 Tage später als an einer anderen Stelle geprüft wurde, in der Versuchsanstalt die Kochprobe bestanden, während er, 8 Tage früher durch Kochen geprüft, Kanten- und Netzrisse zeigte und mürbe wurde. Cement F, der an zwei Stellen etwa 4 Wochen später als in der Versuchsanstalt geprüft wurde, zeigte nach mehrwöchentlicher Lagerung bei allen sogenannten beschleunigten Proben geringere Zerstörungserscheinungen. Aehnlich liegt der Fall bei Marke H, J, L und U (vergleiche auch die weiter unten aufgeführten Beobachtungen der Versuchsanstalt bei der Kochprobe, Tab. 5)

Diese Beobachtungen bestätigen die Erfahrung, daß die Cemente den sogenannten „beschleunigten Raumbeständigkeitsproben" besser widerstehen, wenn sie abgelagert sind.

Die Prüfung auf Raumbeständigkeit nach den Normen ist von allen Cementen an allen Versuchsstellen bestanden worden.

Nur einige Kuchen aus den Cementen A und B haben an zwei Versuchsstellen Krümmungen gezeigt, eine Erscheinung, deren Ursache nicht aufgeklärt ist; mehrere haben sich von den Glasplatten losgelöst, ohne indeß Beschädigungen aufzuweisen. Die an der Luft im Freien aufbewahrten Kuchen der Cemente A, B, J und U haben an einigen Versuchsstellen bereits nach 7 Tagen Krümmungen und Risse gezeigt.

Erhebliche Unterschiede in dem Verhalten der dünnen und der dicken Kuchen sind weder bei Aufbewahrung unter Wasser, noch im Zimmer oder im Freien beobachtet worden. Nach Dr. Schumanns Beobachtung werden die Kuchen mit dünnen Rändern an der Luft früher mürbe.

Vergleicht man mit diesen Ergebnissen die Ergebnisse der sogenannten beschleunigten Proben, so zeigen sich wesentliche Unterschiede.

Am nächsten der Normenprobe in Bezug auf Wirkungsgrad steht augenscheinlich die Darrprobe und die Kugelglühprobe. Dennoch haben verschiedene Cemente die Darrprobe nicht durchweg bestanden z. B. A, F, J, U. Bei der Marke U ist bemerkenswerth, daß der Cement in der Versuchsanstalt bei der Darrprobe am 14. April Netz- und Kantenrisse zeigte, während er an anderer Versuchsstelle bereits am 20. Mai die Darrprobe bestand. Die Heintzelsche Kugelglühprobe ist von den Cementen A, B, F, L und U nicht überall bestanden worden, namentlich zeigt der Cement A an allen 3 Versuchsstellen starke Risse.

Die Kochprobe nach Michaelis haben im frischen Zustande der Kuchen, Tab. 3, nur an 2 Versuchsstellen die Cemente C und L bestanden. Im Uebrigen haben die Cemente bei dieser Probe an den verschiedenen Versuchsstellen mannigfache Zerstörungserscheinungen gezeigt, von einzelnen feinen Netzrissen an bis zum vollständigen Zerkochen. (Vergl. auch Tab. 5, 5a und 6.)

Der Kochprobe steht die Kugelprobe nach Tetmajer wenig nach. Diese Probe hat kein Cement vollständig bestanden. Doch sind bei verschiedenen Cementen erhebliche Zerstörungserscheinungen nur an je einer Versuchsstelle und zwar meistens an der, in welcher der Cement zuerst zur Prüfung kam, beobachtet worden. Am schlechtesten verhielten sich hierbei die Cemente A, D, J und U.

Die Heißwasserprobe nach Maclay hat den gehegten Erwartungen wenig entsprochen. Man hätte annehmen dürfen, daß die sofort nach dem Gießen 3 Stunden dem Dampfbade ausgesetzten und dann 21 Stunden lang gekochten Proben wesentlich weitergehende Zerstörungen zeigen würden als die Kuchen, welche erst nach dem Abbinden oder nach der doppelten Abbindezeit, oder erst nach 24 Stunden dem Dampf und dem Wasserbade ausgesetzt worden sind. Dies hat sich aber nicht oder nur in geringem Maße bestätigt. Die Zerstörungserscheinungen sind fast dieselben, ob man den Kuchen sofort nach dem Anmachen oder erst nach endgültigem Abbinden kocht.

Hiernach würden die Dampfkochproben, wie sie Maclay vorschlägt, auf den vierten Theil der jetzt nothwendigen Versuche beschränkt werden können, oder man könnte sie auch ganz fallen lassen und sich mit der Kochprobe nach Michaelis begnügen, wenn man eine solche Probe überhaupt ausführen will. Die Erscheinungen, welche die nach dem Abbinden in frisches Wasser von etwa 15 C° und feuchter Luft von etwa 15 C° gebrachten Kuchen, die

Tab. 6. **Ergebnisse der von allen Mitgliedern ausgeführten Prüfung**

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am:	Raumbeständigkeit							
		Proben bei Zimmerwärme 24 Stunden in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der frischen Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-									
Meyer	5. 2. 96	Einige Kuchen von den Platten gelöst							
Schumann	1. 2. 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	5. 2. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst; schwach gebogen							
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
C. Prüßing	11. 2. 96[1]	[Einige Kuchen von den Platten gelöst							
Dr. Prüßing	7. 2. 96	Einige Kuchen gelöst		Alle Kuchen von den Platten gelöst		→←			b
Versuchsanstalt	11. 2. 96	[1 ⊙	1 ⊙]	b	b	b	b	b	1 ⊙
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
Schiffner	5. 2. 96	2 Kuchen gelöst	Alle Kuchen von den Platten gelöst						
Schindler[2]	24. 2 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	19. 2. 96	b	2 Kuchen gelöst	b	b	b	b	⊙ #	1 ⊙
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
Schott	20. 2. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Paulsen	11. 2. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst						b Untere Fläche rissig	b
Versuchsanstalt	28. 2 96	Nicht ausgeführt, weil die Kochprobe bestanden wurde							
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
Meyer	30. 3. 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Schumann	7. 4. 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	5. 3. 96[3]	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
		—	—	—	—	b	b	—	—
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—

auf Raumbeständigkeit und Festigkeit nach 28 Tagen Alter der Proben.

Kochprobe nach Michaelis		Preßkuchenprobe nach Prüßing 2 Kuchen sogleich aus der Form genommen, 24 Stunden in einem Kasten gegen Ausdünstung geschützt u. dann in kaltes Wasser gelegt	Festigkeit			Bemerkungen
			1 Cement + 3 Normalsand			
dünne Kuchen	dicke Kuchen		Mittel aus Versuchen	Zugfestigkeit kg/qcm	Druckfestigkeit kg/qcm	
Marke A.						
# ~	# ~	b	10	14,9	158,9	—
—	⊙	⊙	5	15,6	172,0	
# ⊙	# ⊙	⊙	10	15,3	171,4	
—	—	—	—	**15,3**	**167,4**	
Marke B.						
b	b	⌒	10	17,4	114,3]	[1]) Die letzten Raumbeständigkeitsproben wurden erst am 4. April 1896 angemacht.
b	b	b	10	14,0	92,4	
b	S Unterseite	⌒	10	14,8	116,6	
—	—	—	—	**15,4**	**107,8**	
Marke C.						
b	b	b	10	21,4	146,0	[2]) Fast sämmtliche Proben zeigten auf der unteren Seite größere Risse (Schwindrisse ?).
b	b	⊙	10	[15,1	168,4]	
b	b	⌒	10	21,2	142,7	
—	—	—	—	**19,2**	**152,4**	
Marke D.						
# ⌒	# ⌒	b	10	17,0	162,3	—
⌒	⌒	b	10	18,5	134,8	
b	b	Nicht ausgeführt	10	16,5	148,3	
—	—	–	—	**17,3**	**148,5**	
Marke F.						
b	b	b	—	13,5	132,4	[3]) Der Cement wirkte sehr ätzend auf die Haut.
—	—	#	5	13,1	137,0	
b	b	~	10	15,4	141,2	
—	—	—	—	**14,0**	**136,9**	

Tabelle 6

Versuchsstelle	Prüfung begonnen am:	Raumbeständigkeit							
		Proben bei Zimmerwärme 24 Stunden in feuchter Luft, dann							
		nur im Wasser (Normenprobe)		3 Tage unter Wasser, hierauf an der frischen Luft		nur an der Luft im Zimmer		nur an der Luft im Freien unter Dach	
		Ränder der Kuchen							
		dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick	dünn	dick
Cement-									
Schott	22. 4. 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Paulsen	11. 8. 96	b	b	Alle Kuchen von den Platten gelöst					
Versuchsanstalt	20. 3. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
Meyer	5. 5. 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Schumann	12. 5. 96	b	b	b	b	b	b	b	b
Versuchsanstalt	17. 3. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
C. Prüfling	12. 5. 96[1]	[Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Dr. Prüfling	17. 4. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst →←	→←	→←	⌒	→←	—	b	b
Versuchsanstalt	10. 3. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
Schiffner	31. 8. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Schindler	26. 8. 96	b	b	b	b	b	b	~~~[2]	~~~[2]
Versuchsanstalt	13. 3. 96	Alle Kuchen von den Platten gelöst							
Mittel		—	—	—	—	—	—	—	—
Cement-									
C. Prüfling	2. 7. 96	SS	—	—	—	—	—	b	b
Dr. Prüfling	20. 5. 96	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst —	—	→←	⌒	—	—	—	—
Versuchsanstalt	14. 4. 96	Die meisten Kuchen von den Platten gelöst							
Mittel		..	—	..	—	—	—	—	—

(Fortsetzung).

Kochprobe nach Michaelis		Preßkuchenprobe nach Prüßing 2 Kuchen sogleich aus der Form genommen, 24 Stunden in einem Kasten gegen Ausdünstung geschützt u. dann in kaltes Wasser gelegt	Festigkeit 1 Cement + 3 Normalsand			Bemerkungen
dünne Kuchen	dicke Kuchen		Mittel aus Versuchen	Zugfestigkeit kg/qcm	Druckfestigkeit kg/qcm	
Marke G.						
b	b	b	10	16,2	170,7	—
b	b	b	10	19,5	127,2	
⌒ ⊙	b	b	10	15,8	137,7	
—	—	—	—	**17,2**	**145,2**	
Marke H.						
b	b	b	—	**14,75**	127,9	—
b	b	b	5	16,1	149,0	
b	b	b	10	16,2	128,5	
—	—	—	—	**15,7**	**135,1**	
Marke J.						
b	b	b	10	19,95	151,85]	[1]) Die letzten Raumbeständigkeitsproben wurden erst am 5. August 1897 angemacht.
b	b	b	10	16,8	141,8	
#	#	⌒	10	16,7	152,6	
—	—	—	—	**17,8**	**148,8**	
Marke L.						
b	b	b	10	17,8	166,0	[2]) An den Rändern mürbe; mit den Fingern ließen sich Theile abdrücken.
b	b	b	10	[14,5	167,6]	
b	b	b	10	16,6	156,7	
—	—	—	—	**16,3**	**163,4**	
Marke U.						
⌒	b	# ⊙	10	19,45	176,15	—
#	#	—	10	17,3	158,5	
# ⊙ ⌒	# ⊙ ⌒	⊙ ⌒	10	15,7	155,4	
—	—	—	—	**17,5**	**163,4**	

Tab. 7. Ergebnisse der in der Versuchsanstalt ausgeführten Versuche auf Längenänderung.

Versuch Nr.	Reiner Cement					1 Cement + 3 Rheinsand				
	Differenzen der Längenabmessungen zwischen je 2 Altersklassen in $^1/_{1000}$ mm									
	24 St. — 28 Tage	28 Tage — 90 Tage	90 Tage — 360 Tage	360 Tage — 2 Jahre	2 Jahre — 4 Jahre	24 St. — 28 Tage	28 Tage — 90 Tage	90 Tage — 360 Tage	360 Tage — 2 Jahre	2 Jahre — 4 Jahre
Cement A.										
1	+ 41	(+ 520)	+ 7	+ 2		0	+ 8	— 20	— 13	
2	+ 41	0	+ 15	+ 10		0	0	— 20	— 13	
3	+ 39	0	+ 12	+ 9		+ 1	+ 8	— 21	— 17	
4	+ 1	(— 330)	0	+ 2		+ 5	+ 7	— 25	— 13	
5	+ 58	0	— 5	+ 5		0	+ 2	— 20	— 18	
Sa.	240	0	29	28		6	25	106	74	
Mittel	+ 48	0	+ 6	+ 6		+ 1	+ 5	— 21	— 15	
Sa.	+ 48	+ 48	+ 54	+ 60		+ 1	+ 6	— 15	— 30	
Cement B.										
1	+ 71	+ 3	+ 12	+ 3		+ 8	+ 25	+ 5	— 7	
2	+ 53	+ 5	+ 8	+ 8		+ 7	+ 60	+ 18	— 24	
3	+ 54	+ 5	+ 0	+ 0		+ 8	+ 40	+ 90	— 21	
4	+ 77	+ 2	+ 10	+ 8		+ 9	+ 3	+ 5	— 39	
5	+ 67	+ 0	+ 5	+ 13		+ 5	+ 2	+ 0	— 38	
Sa.	322	15	35	32		37	130	118	— 129	
Mittel	+ 64	+ 3	+ 7	+ 6		+ 7	+ 26	+ 24	— 26	
Sa.	+ 64	+ 67	+ 74	+ 80		+ 7	+ 33	+ 57	+ 31	
Cement C.										
1	+ 44	+ 20	+ 12	— 8		+ 15	— 5	+ 10	— 48	
2	+ 66	+ 0	+ 8	+ 1		+ 25	— 7	0	— 28	
3	+ 95	+ 0	+ 15	— 19		+ 12	+ 3	0	— 28	
4	+ 62	+ 37	+ 7	± 0		+ 9	— 7	0	— 25	
5	+ 20	+ 6	+ 7	+ 4		+ 14	+ 2	0	— 26	
Sa.	287	63	49	— 22		75	— 14	+ 10	155	
Mittel	+ 57	+ 13	+ 10	— 4		+ 15	— 3	+ 2	— 31	
Sa.	+ 57	+ 70	+ 80	+ 76		+ 15	+ 12	+ 14	— 17	
Cement D.										
1	+ 75	+ 10	+ 20	— 11		+ 15	— 8	+ 32	— 46	
2	+ 88	+ 16	+ 25	— 10		+ 10	— 6	+ 30	(— 850)	
3	+ 90	0	+ 23	— 16		+ 28	— 17	0	— 20	
4	+ 87	0	+ 20	— 15		+ 9	+ 3	+ 10	— 41	
5	+ 94	— 10	+ 25	— 18		+ 13	+ 7	0	— 21	
Sa.	429	+ 16	113	70		75	— 21	72	128	
Mittel	+ 86	+ 3	+ 23	— 14		+ 15	— 4	+ 14	— 32	
Sa.	+ 86	+ 89	+ 122	+ 108		+ 15	+ 11	+ 25	— 7	
Cement F.										
1	—	+ 15	+ 20	— 1		—	—	—	—	
2	—	+ 10	0	+ 17		—	— 13	0	— 16	
3	—	+ 7	+ 13	+ 9		—	0	0	— 20	
4	—	+ 17	+ 13	+ 16		—	— 30	0	— 12	
5	—	+ 15	+ 15	+ 6		—	— 2	0	— 28	
Sa.	—	64	61	37		—	45	0	76	
Mittel	—	+ 13	+ 12	+ 7		—	— 11	0	— 19	
Sa.	(+ 58)	+ 66	+ 78	+ 85		(+ 8)	— 8	— 8	— 22	

Tabelle 7 (Fortsetzung).

Versuch Nr.	Reiner Cement					1 Cement + 3 Rheinsand				
	Differenzen der Längenabmessungen zwischen je 2 Altersklassen in $^1/_{1000}$ mm									
	24 Std. — 28 Tage	28 Tage — 90 Tage	90 Tage — 360 Tage	360 Tage — 2 Jahre	2 Jahre — 4 Jahre	24 St. — 28 Tage	28 Tage — 90 Tage	90 Tage — 360 Tage	360 Tage — 2 Jahre	2 Jahre — 4 Jahre
Cement G.										
1	+ 38	+ 30	+ 47	— 22		—	—	—	—	
2	+ 45	+ 28	+ 22	+ 5		+ 1	+ 7	— 3	— 29	
3	+ 45	+ 23	+ 22	+ 5		+ 22	+ 11	— 11	— 20	
4	+ 65	0	+ 15	+ 10		0	0	— 7	— 33	
5	+ 21	+ 18	+ 45	+ 22		+ 2	+ 25	— 7	— 23	
Sa.	214	99	151	+ 20		25	43	28	105	
Mittel	+ 43	+ 20	+ 30	+ 4		+ 6	+ 11	— 7	— 26	
Sa.	**+ 43**	**+ 63**	**+ 93**	**+ 97**[1]		**+ 6**	**+ 17**	**+ 10**	**— 16**	
Cement H.										
1	+ 53	+ 23	0	+ 5		+ 0	+ 7	— 12	— 25	
2	+ 44	+ 7	+ 17	+ 9		+ 12	+ 0	— 7	— 25	
3	+ 50	+ 0	+ 10	+ 11		+ 7	+ 0	— 15	— 20	
4	+ 40	+ 39	0	(— 422)		+ 12	+ 0	— 8	— 24	
5	+ 92	+ 3	+ 20	+ 17		+ 0	+ 5	— 2	— 16	
Sa.	279	72	47	42		31	12	44	110	
Mittel	+ 56	+ 14	+ 9	+ 10		+ 6	+ 2	— 9	— 22	
Sa.	**+ 56**	**+ 70**	**+ 79**	**+ 89**		**+ 6**	**+ 8**	**— 1**	**— 23**	
Cement J.										
1	+ 42	+ 55	+ 18	— 45		+ 0	+ 0	0	— 55	
2	+ 78	+ 18	+ 2	— 27		+ 16	+ 33	0	— 88	
3	+ 50	+ 30	+ 25	— 26		+ 0	+ 10	0	— 75	
4	+ 85	+ 15	+ 15	— 13		+ 6	+ 3	0	— 69	
5	+ 32	+ 28	+ 45	— 7		+ 7	0	0	— 67	
Sa.	287	146	105	— 118		29	46	0	354	
Mittel	+ 57	+ 29	+ 21	— 24		+ 6	+ 9	0	— 71	
Sa.	**+ 57**	**+ 86**	**+ 117**	**+ 93**		**+ 6**	**+ 15**	**+ 15**	**— 56**	
Cement L.										
1	+ 75	0	+ 10	— 18		+ 10	+ 10	— 37	— 48	
2	+ 65	+ 4	+ 8	— 24		+ 8	+ 7	— 15	— 88	
3	+ 53	+ 50	+ 5	— 5 [2]		+ 1	+ 2	— 28	— 62 [2]	
4	+ 46	+ 8	+ 2	— 10		+ 6	+ 11	— 55	— 59	
5	+ 45	+ 40	+ 13	— 44		+ 10	+ 20	— 20	—	
Sa.	284	102	38	101		35	50	152	257	
Mittel	+ 57	+ 20	+ 8	— 20		+ 7	+ 10	— 30	— 64	
Sa.	**+ 57**	**+ 77**	**+ 85**	**+ 70**[3]		**+ 7**	**+ 17**	**— 18**	**— 85**	
Cement U.										
1	+ 117	+ 25	+ 35	+ 8		+ 10	0	0	— 16	
2	+ 110	+ 25	+ 25	+ 9		+ 27	0	0	— 50	
3	+ 90	+ 45	+ 45	— 7		+ 2	0	0	— 14	
4	—	—	—	+ 8		+ 8	+ 7	1	— 29	
5	—	—	—	—		—	—	—	—	
Sa.	317	+ 95	105	+ 18		47	+ 7	1	109	
Mittel	+ 106	+ 32	+ 35	+ 5		+ 12	+ 2	+ 0	— 27	
Sa.	**+ 106**	**+ 138**	**+ 173**	**+ 178**		**+ 12**	**+ 14**	**+ 14**	**— 18**	

[1]) Einzelne Haarrisse an der oberen, geglätteten Fläche. [2]) Diese Werthe sind nachträglich an Proben von 2 Jahren 10 Monaten Alter ermittelt worden. [3]) Einzelne Querrisse an den Seiten und der unteren Fläche.

Tab. 7a. **Zusammenstellung der Mittelwerthe der Längenmessungen in der Versuchsanstalt.**

Cement-Marke	Reiner Cement					1 Cement + 3 Rheinsand				
	Differenzen der Längenabmessungen zwischen je 2 Altersklassen in $^1/_{1000}$ mm									
	24 Std. — 28 Tage	28 Tage — 90 Tage	90 Tage — 360 Tage	360 Tage — 2 Jahre	2 Jahre — 4 Jahre	24 Std. — 28 Tage	28 Tage — 90 Tage	90 Tage — 360 Tage	360 Tage — 2 Jahre	2 Jahre — 4 Jahre
A.	+ 48	+ 0	+ 6	+ 6		+ 1	+ 5	— 21	— 15	
B.	+ 64	+ 3	+ 7	+ 6		+ 7	+ 26	+ 24	— 26	
C.	+ 57	+ 13	+ 10	— 4		+ 15	— 3	+ 2	— 31	
D.	+ 86	+ 3	+ 23	— 14		+ 15	— 4	+ 14	— 32	
F.	(+ 53)	+ 13	+ 12	+ 7		(+ 8)	— 11	0	— 19	
G.	+ 43	+ 20	+ 30	+ 4		+ 6	+ 17	+ 10	— 16	
H.	+ 56	+ 14	+ 9	+ 10		+ 6	+ 2	— 9	— 22	
J.	+ 57	+ 29	+ 21	— 24		+ 6	+ 9	0	— 71	
L.	+ 57	+ 20	+ 8	— 20		+ 7	+ 10	— 30	— 64	
U.	+ 106	+ 32	+ 35	+ 5		+ 12	+ 2	+ 0	— 27	

nach Maclay zum Vergleiche ausgeführt wurden, gezeigt haben, entsprechen annähernd den beobachteten Erscheinungen der ähnlich behandelten Normenproben. Somit würden auch diese Proben überflüssig werden. Sie sind ohnedies schwer ausführbar, da es schwierig ist, Wasser- und Luftwärme längere Zeit auf 15 C° gleichmäßig zu erhalten.

Der Preßkuchenprobe nach Prüßing hat, soweit sie sich auf frische Kuchen bezieht (Tab. 3), kein Cement widerstanden. Selbst die Preßkuchen, welche 28 Tage nur in kaltem Wasser erhärteten (Tab. 6), haben vielfach starke Verkrümmungen und theilweise Netz- und Kantenrisse gezeigt. Die Neigung zu Verkrümmungen ist augenscheinlich auf die Art der Herstellung der Preßkuchen zurückzuführen[1]).

Wollte man die geprüften zehn Cemente nach den beschleunigten Raumbeständigkeitsprüfungen innerhalb des Zeitraumes der ersten Beobachtungswoche beurtheilen, was doch Zweck dieser Proben ist, so müßten die zehn Cemente sämmtlich verworfen werden. Schwerlich würde sich ein Bauherr finden, der den Muth hätte, einen so raumunbeständigen Cement zu verwenden, wie die geprüften Cemente zu sein scheinen, wenn man sie nach den beschleunigten Raumbeständigkeitsprüfungen beurtheilt. Die beschleunigten Proben würden also zur Ausschließung von Cementen führen, die sehr wohl brauchbar sind.

Die Betrachtung der weiteren Versuchsergebnisse wird zeigen, wie sich die Cemente in ihrem Erhärtungsfortgange und namentlich auch bei längerem Aufenthalte im Freien bewährt haben.

b. Kuchenproben nach den Normen und bei Luftlagerung bis zu 2 Jahren Alter (Tab. 4 und 4a).

Nach dem Arbeitsplane wurden die Kuchen nach 28 Tagen, 3 Monaten, 1 Jahre und 2 Jahren beobachtet. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse der Versuchsanstalt sind in Tab. 4 vereinigt. Darnach lösten sich nach 28 Tagen Alter die Kuchen in zahlreichen Fällen von den Glasplatten ab. Ob hierauf besonderes Gewicht zu legen ist, sei dahingestellt. Wahrscheinlich ist diese Erscheinung eine Folge wechselnder Wärme im Aufbewahrungsraum und daher für die Beurtheilung der Proben bedeutungslos[2]).

[1]) Herr C. Prüßing bestreitet dies und ist nach wie vor der Ansicht, daß ein wirklich raumbeständiger Cement die Preßkuchenprobe besteht. Die übrigen Mitglieder der Kommission sind der Ansicht des Berichterstatters.

[2]) Herr Dr. Schumann führt das Loslösen der Kuchen von den Glasplatten auf Schwindung zurück.

Tab. 7b. Mittelwerthe der Versuche aller Mitglieder auf Längenänderung.

Versuchsstelle	Längenänderung in $^1/_{1000}$ mm bezogen auf die Länge nach 24 Stunden nach									
	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	2 Jahren	4 Jahren	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	2 Jahren	4 Jahren
	Reiner Cement					1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand				
Cement-Marke A.										
Schumann . .	+ 128	+ 183	+ 227	+ 242		+ 30	+ 41	+ 43	+ 44	
Meyer	—	—	—	—		—	—	—	—	
Versuchsanstalt	+ 48	+ 48	+ 54	+ 60		+ 1	+ 6	− 15	− 30	
Cement-Marke B.										
C. Prüßing . .	+ 103	+ 134	+ 157	+ 158		± 0	− 4	− 8	− 10	
Dr. Prüßing .	+ 135	+ 189	—	—		+ 6	− 14	—	—	
Versuchsanstalt	+ 64	+ 67	+ 74	+ 80		+ 7	+ 33	+ 57	+ 31	
Cement-Marke C.										
Schiffner . . .	+ 73	+ 96	+ 132	+ 153,5		− 1	+ 1	+ 8	− 1	
Schindler . . .	+ 11	+ 18	+ 25	—		+ 7	+ 11	+ 13	—	
Versuchsanstalt	+ 57	+ 70	+ 80	+ 76		+ 15	+ 12	+ 14	− 17	
Cement-Marke D.										
Paulsen	+ 126	+ 142	+ 185	+ 203		+ 15	+ 13	+ 14	+ 23	
Schott	+ 141	+ 169	+ 207	+ 221		+ 19	+ 11	+ 13	+ 14	
Versuchsanstalt	+ 86	+ 89	+ 122	+ 108		+ 15	+ 11	+ 25	− 7	
Cement-Marke F.										
Schumann. . .	+ 133	+ 169	+ 203	+ 228		+ 37	+ 42	+ 44	+ 46	
Meyer	—	—	—	—		—	—	—	—	
Versuchsanstalt	(+ 53)	+ 66	+ 78	+ 85		(+ 8)	− 3	− 3	− 22	
Cement-Marke G.										
Paulsen	+ 39	+ 65	+ 74	+ 84		− 5	—	− 1	− 4	
Schott	+ 44	+ 74	+ 89	+ 98		+ 1	+ 13	+ 16	+ 12	
Versuchsanstalt	+ 43	+ 63	+ 93	+ 97		+ 6	+ 17	+ 10	− 16	
Cement-Marke H.										
Schumann. . .	+ 64	+ 84	+ 99	+ 114		+ 11	+ 12	+ 14	+ 14	
Meyer	—	—	—	—		—	—	—	—	
Versuchsanstalt	+ 56	+ 70	+ 79	+ 89		+ 6	+ 8	− 1	− 23	
Cement-Marke J.										
C. Prüßing . .	+ 54	+ 73	+ 107	+ 132		+ 5	+ 7	− 2	+ 2	
Dr. Prüßing .	+ 91	Apparat unbrauchbar geworden				+ 2	Apparat unbrauchbar geworden			
Versuchsanstalt	+ 57	+ 96	+ 117	+ 93		+ 6	+ 15	+ 15	− 56	
Cement-Marke L.										
Schiffner . . .	+ 71	+ 92	+ 132	+ 149		+ 7	+ 5	+ 11	+ 7	
Schindler . . .	+ 8	+ 15	+ 20	—		+ 6	+ 9	+ 10	—	
Versuchsanstalt	+ 57	+ 77	+ 85	+ 70[1])		+ 7	+ 17	− 13	− 85[1])	
Cement-Marke U.										
C. Prüßing . .	+ 106	+ 150	+ 186	+ 210		+ 4	+ 8	+ 9	+ 11	
Dr. Prüßing .	+ 99	Apparat unbrauchbar geworden				+ 19	Apparat unbrauchbar geworden			
Versuchsanstalt	+ 106	+ 138	+ 173	+ 178		+ 12	+ 14	+ 14	− 13	

[1]) Diese Werthe sind nachträglich an Proben von 2 Jahren 10 Monaten Alter ermittelt worden.

Tab. 8. **Zusammenstellung der Mittelwerthe der in der Versuchsanstalt ausgeführten Versuche auf Zugfestigkeit der Rheinsandmörtel 1 + 1.**

Mittlere Zugfestigkeit kg/qcm.

Mischung	1 Gew.-Thl. Cement + 1 Gew.-Thl. Rheinsand					Bemerkungen
Alter	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	
Cement A	24,9	32,6	38,2	38,8		24 Stunden im feuchten Raume, die übrige Zeit unter Wasser erhärtet
„ B	21,1	29,1	39,6	38,1		
„ C	31,0	40,0	45,8	42,4		
„ D	26,3	34,9	47,8	42,8		
„ F	24,7	26,8	38,5	37,7		
„ G	26,1	33,0	41,6	44,4		
„ H	23,9	26,9	37,8	43,8		
„ J	26,3	30,1	39,5	38,1		
„ L	20,7	24,5	34,1	34,6		
„ U	23,9	38,3	45,9	42,1		
Mittel	24,9	31,6	40,9	40,3		
Cement A	32,9	48,9	41,7	43,6		24 Stunden im feuchten Raume, drei Tage im Wasser, dann in Kellerluft erhärtet
„ B	34,0	45,1	54,7	52,8		
„ C	37,8	45,9	41,4	39,4		
„ D	36,3	40,7	36,5	62,5		
„ F	33,6	40,7	49,7	62,9		
„ G	41,7	37,7	43,8	53,1		
„ H	30,5	40,3	45,2	66,1		
„ J	35,6	42,7	51,6	46,2		
„ L	33,3	39,0	49,0	62,4		
„ U	36,8	35,4	41,4	39,4		
Mittel	35,3	41,6	45,5	52,8		
Cement A	28,4	38,5	39,7	41,5		24 Stunden im feuchten Raume, dann in Kellerluft erhärtet
„ B	30,9	42,3	55,4	50,5		
„ C	32,7	37,3	45,2	57,2		
„ D	32,7	36,1	36,4	50,1		
„ F	34,5	41,1	46,6	64,3		
„ G	36,2	35,9	42,0	51,4		
„ H	33,3	34,8	48,7	68,6		
„ J	34,4	36,8	48,2	49,4		
„ L	32,4	33,0	45,5	61,9		
„ U	32,0	32,5	44,0	53,5		
Mittel	32,8	36,8	45,2	54,8		

Im Uebrigen haben in der Versuchsanstalt (Tab. 4) alle Kuchen, die unter Wasser oder im Zimmer lagen, bis zu 2 Jahren keine Veränderungen gezeigt. Dagegen wiesen die im Freien aufbewahrten Kuchen mit zunehmendem Alter wachsende Zerstörungserscheinungen auf, die schließlich in Netz- und Kantenrissen in die Erscheinung traten, wie namentlich bei den Cementen B, C und F deutlich zu sehen ist.

Diese Erscheinung ist an anderen Versuchsstellen (Tab. 4a) nicht beobachtet worden. In der Versuchsanstalt lagen die Kuchen zwar unter Dach im Freien, aber Mangels geeigneter Räumlichkeiten konnte nicht verhindert werden, daß sie zuweilen von Sonnenschein, Regen und Schnee getroffen wurden, was zweifellos erhebliche Raumänderungen in den Körpern bewirken mußte, die sich an den gleichartigen Proben im Zimmer nicht bemerkbar machten. Auch hierbei zeigten dünne und dicke Kuchen übereinstimmendes Verhalten.

Tab. 8a. Zugfestigkeit der Rheinsandmörtel 1 + 1.

Mittelwerthe aller Kommissionsmitglieder kg/qcm.

Versuchsstelle	24 Stunden an der feuchten Luft, dann im Wasser erhärtet					24 Stunden an der feuchten Luft, 3 Tage im Wasser, dann an der Luft erhärtet					24 Stunden an der feuchten Luft, dann an der Luft erhärtet				
	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre
Cement-Marke A.															
Meyer	24,1	30,5	38,0	46,4		37,4	43,3	37,1	44,4		33,5	38,6	33,3	51,6	
Schumann . .	28,4	31,7	42,9	47,2		37,4	39,0	41,4	52,1		33,2	34,9	37,9	45,4	
Versuchsanstalt	24,9	32,6	38,2	38,8		32,9	48,9	41,7	48,6		28,4	38,5	39,7	41,5	
Cement-Marke B.															
C. Prüßing .	24,6	31,8	38,0	42,5		40,1	47,0	74,6	73,7		46,1	50,1	78,8	74,6	
Dr. Prüßing	19,9	25,6	34,7	42,9		31,0	55,9	59,2	61,9		45,5	45,9	56,7	68,4	
Versuchsanstalt	21,1	29,1	39,6	38,1		34,0	45,1	54,7	52,8		30,9	42,3	55,4	50,5	
Cement-Marke C.															
Schiffner . . .	28,6	34,4	44,3	38,4		47,5	38,7	50,1	48,4		33,6	36,3	46,7	55,1	
Schindler . .	25,4	29,1	36,6	43,0		37,6	38,2	41,2	44,7		25,5	26,8	43,4	56,2	
Versuchsanstalt	31,0	40,0	45,8	42,4		37,8	45,9	41,4	39,4		32,7	37,3	45,2	57,2	
Cement-Marke D.															
Schott	26,1	33,2	42,9	45,8		40,9	42,2	50,0	58,0		36,1	42,2	56,3	69,2	
Paulsen . . .	27,3	31,0	41,9	45,7		42,5	51,2	53,6	60,8		36,4	37,8	56,3	47,3	
Versuchsanstalt	26,3	34,9	47,8	42,8		36,3	40,7	36,5	62,5		32,7	36,1	36,4	50,1	
Cement-Marke F.															
Meyer	22,6	27,5	37,0	43,9		32,9	35,5	40,1	47,0		31,4	29,8	43,2	44,7	
Schumann . .	22,5	27,8	35,8	45,3		39,6	40,8	45,1	51,0		36,4	37,3	42,8	48,3	
Versuchsanstalt	24,7	26,8	38,5	37,7		33,6	40,7	49,7	62,9		34,5	41,1	46,6	64,3	
Cement-Marke G.															
Schott	30,3	37,7	45,3	45,8		39,7	44,9	66,1	70,1		38,3	42,9	58,1	57,9	
Paulsen . . .	25,0	35,3	42,5	45,4		46,1	39,9	52,3	64,3		37,4	32,9	54,7	60,8	
Versuchsanstalt	26,1	33,0	41,6	44,4		41,7	37,7	43,8	68,1		36,2	35,9	42,0	51,4	
Cement-Marke H.															
Meyer	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	
Schumann . .	25,2	31,4	36,1	40,1		39,7	43,4	49,3	54,5		35,0	38,0	39,9	48,7	
Versuchsanstalt	23,9	26,9	37,8	43,8		30,5	40,3	45,2	66,1		33,3	34,8	48,7	68,6	
Cement-Marke J.															
C. Prüßing .	26,1	34,3	44,6	43,1		44,5	54,9	67,8	77,3		36,9	55,4	77,9	77,7	
Dr. Prüßing	21,3	28,2	35,4	38,3		39,2	40,3	48,8	48,2		31,2	30,2	51,1	56,3	
Versuchsanstalt	26,3	30,1	39,5	38,1		35,6	42,7	51,6	46,2		34,4	36,8	48,2	49,4	
Cement-Marke L.															
Schiffner . . .	22,1	26,7	30,7	36,4		34,5	38,4	42,6	43,5		30,7	31,8	37,2	50,7	
Schindler . .	23,0	29,8	35,2	40,4		34,6	31,0	33,6	38,6		20,6	22,4	28,1	41,0	
Versuchsanstalt	20,7	24,5	34,1	34,6		33,3	39,0	49,0	62,4		32,4	33,0	45,5	61,9	
Cement-Marke U.															
C. Prüßing .	27,7	39,2	51,0	50,5		41,2	55,3	76,0	73,2		32,9	57,9	77,2	70,3	
Dr. Prüßing	23,6	33,2	38,7	41,0		36,7	36,5	44,6	45,0		34,0	35,2	45,5	50,7	
Versuchsanstalt	28,9	38,3	45,9	42,1		36,8	35,4	41,4	39,4		32,0	32,5	44,0	53,5	

Tab. 9. Zusammenstellung der Mittelwerthe der in der Versuchsanstalt ausgeführten Versuche auf Zugfestigkeit der Rheinsandmörtel 1 + 3.

Mittlere Zugfestigkeit kg/qcm.

Mischung	1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand					Bemerkungen
Alter	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	
Cement A	18,5	23,1	27,6	30,3		24 Stunden im feuchten Raume, die übrige Zeit unter Wasser erhärtet
„ B	18,5	24,6	29,1	28,8		
„ C	21,8	28,9	30,7	29,7		
„ D	22,0	26,5	35,7	38,4		
„ F	18,8	22,8	33,6	35,4		
„ G	19,3	23,2	29,6	27,8		
„ H	21,2	23,9	31,8	34,4		
„ J	20,1	21,8	29,9	26,8		
„ L	21,0	22,4	28,8	30,1		
„ U	22,1	26,9	33,2	33,8		
Mittel	20,3	24,4	31,0	31,6		
Cement A	30,6	44,9	35,2	60,9		24 Stunden im feuchten Raume, drei Tage unter Wasser, dann in Kellerluft erhärtet
„ B	31,7	38,2	49,2	63,3		
„ C	29,9	35,3	39,0	39,2		
„ D	33,5	39,5	43,0	49,5		
„ F	31,5	37,5	44,6	59,2		
„ G	30,4	32,9	45,5	49,5		
„ H	33,1	34,4	46,2	57,2		
„ J	35,0	33,0	49,2	47,0		
„ L	33,4	39,2	48,2	58,4		
„ U	36,3	33,3	40,6	51,7		
Mittel	32,5	36,8	44,1	53,6		
Cement A	24,5	42,4	38,6	59,7		24 Stunden im feuchten Raume, dann in Kellerluft erhärtet
„ B	24,6	32,0	44,0	53,8		
„ C	27,2	37,3	47,6	45,1		
„ D	30,1	39,4	46,9	59,5		
„ F	30,3	37,4	42,8	59,6		
„ G	26,8	30,3	43,9	49,4		
„ H	32,4	35,2	45,5	57,8		
„ J	27,8	29,1	44,7	46,2		
„ L	30,0	29,6	48,2	61,4		
„ U	33,0	28,5	44,8	57,5		
Mittel	28,7	33,6	44,7	55,0		

c. Kochprobe nach Michaelis (Tab. 5 und 5a):

Die in der Versuchsanstalt gefundenen Ergebnisse der Kochprobe (Tab. 5) lassen erkennen, daß zwischen dünnen und dicken Kuchen kein wesentlicher Unterschied besteht (die dünnen scheinen etwas empfindlicher zu sein). Deshalb ist die Trennung nach der Form der Kuchen in Tab. 5a fallen gelassen und sind diejenigen Erscheinungen dargestellt worden, welche die Kochprobe allgemein an den verschiedenen Versuchsstellen bei frischen Kuchen und solchen, die 1, 2, 3 und 4 Wochen im Wasser gelegen haben, gezeigt hat. Die Ergebnisse beweisen, daß die bei der ersten Prüfung kochunsicheren Cementkuchen um so kochsicherer werden — also raumbeständiger zu werden scheinen —, je länger die Kuchen im Wasser gelegen haben. (Daß im Allgemeinen abgelagerte Cemente das Kochen besser vertragen als frische, ist bekannt.)

Die Versuche beweisen also, daß die Kochprobe zu Trugschlüssen führen kann, weil nicht ersichtlich ist, ob durch sie hervorgetretene Beschädigungen auf

Tab. 9a. Zugfestigkeit der Rheinsandmörtel 1 + 3.

Mittelwerthe aller Kommissionsmitglieder kg/qcm.

Versuchsstelle	24 Stunden an der feuchten Luft, dann im Wasser erhärtet					24 Stunden an der feuchten Luft, 3 Tage im Wasser, dann an der Luft erhärtet					24 Stunden an der feuchten Luft, dann an der Luft erhärtet				
	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre
Cement-Marke A.															
Meyer	18,8	25,3	32,3	40,5		32,1	39,9	38,3	40,6		32,6	33,1	31,9	46,0	
Schumann . .	20,1	22,9	32,4	38,3		28,0	29,4	38,9	51,3		24,8	25,6	37,3	47,3	
Versuchsanstalt	18,5	23,1	27,6	30,3		30,6	44,9	35,2	60,9		24,5	42,4	38,6	59,7	
Cement-Marke B.															
C. Prüßing . .	21,8	27,6	31,7	36,6		37,4	42,5	77,1	77,3		34,5	46,4	68,6	64,4	
Dr. Prüßing .	18,7	22,8	30,5	35,8		34,3	45,2	54,5	60,4		31,5	36,9	52,8	58,5	
Versuchsanstalt	18,5	24,6	29,1	28,8		31,7	38,2	49,2	63,3		24,6	32,0	44,0	53,8	
Cement-Marke C.															
Schiffner . . .	25,1	25,8	31,6	30,7		38,5	41,0	60,0	65,6		26,3	33,4	41,1	62,8	
Schindler . . .	23,5	23,7	28,7	33,5		37,1	27,4	36,6	43,3		33,0	24,8	29,8	42,3	
Versuchsanstalt	21,8	28,9	30,7	29,7		29,9	35,3	39,0	39,2		27,2	37,3	47,6	45,1	
Cement-Marke D.															
Schott	20,5	26,0	34,1	33,2		31,5	35,5	47,2	63,8		28,3	32,3	43,5	53,4	
Paulsen	22,9	28,6	33,1	36,2		40,4	42,5	62,4	74,5		32,1	36,8	55,9	65,3	
Versuchsanstalt	22,0	26,6	35,7	38,4		33,5	39,5	43,0	49,5		30,1	39,4	46,9	59,5	
Cement-Marke F.															
Meyer	19,7	22,9	35,9	34,3		29,2	31,7	38,5	47,9		28,2	28,1	37,6	54,2	
Schumann . .	20,5	22,2	30,8	35,4		32,1	33,6	40,3	46,3		23,4	27,4	35,3	44,4	
Versuchsanstalt	18,8	22,8	33,6	35,4		31,5	37,5	44,6	59,2		30,3	37,4	42,8	59,6	
Cement-Marke G.															
Schott	18,5	23,0	26,8	28,1		27,3	38,6	55,0	57,4		23,5	33,2	43,5	36,3	
Paulsen	21,6	28,3	32,3	35,6		36,6	37,1	62,8	76,3		29,5	34,5	54,1	55,7	
Versuchsanstalt	19,3	23,2	29,6	27,8		30,4	32,9	45,5	49,5		26,8	30,3	43,9	49,4	
Cement-Marke H.															
Meyer[1]	—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	
Schumann . .	20,5	26,8	33,9	36,9		32,0	35,3	43,9	51,3		26,4	31,4	40,3	48,2	
Versuchsanstalt	21,2	23,9	31,8	34,4		33,1	34,4	46,2	57,2		32,4	35,2	45,5	57,8	
Cement-Marke J.															
C. Prüßing . .	24,6	31,8	32,6	34,0		35,9	54,9	73,7	78,9		30,1	53,8	65,9	65,2	
Dr. Prüßing .	20,3	22,3	27,0	28,5		32,7	32,9	50,8	56,0		25,2	25,0	44,3	50,1	
Versuchsanstalt	20,1	21,8	29,9	26,8		35,0	33,0	49,2	47,0		27,8	29,1	44,7	46,2	
Cement-Marke L.															
Schiffner . . .	23,8	26,7	31,5	32,0		40,9	36,4	47,1	65,5		31,4	36,9	52,7	63,0	
Schindler . . .	14,7	20,8	24,0	32,8		19,7	19,9	33,9	44,9		16,9	16,2	25,5	29,4	
Versuchsanstalt	21,0	22,4	28,8	30,1		33,4	39,2	48,2	58,4		30,0	29,6	48,2	61,4	
Cement-Marke U.															
C. Prüßing . .	24,8	33,4	38,4	39,5		40,9	53,6	77,5	79,2		34,3	57,7	70,2	73,3	
Dr. Prüßing .	22,2	26,7	33,6	35,5		36,4	34,2	46,8	52,5		31,0	31,0	42,6	53,3	
Versuchsanstalt	22,1	26,9	33,2	33,8		36,3	33,3	40,6	51,7		33,0	23,5	44,8	57,5	

[1]) Der Cement H wurde nicht untersucht, weil er alle beschleunigten Proben bestanden hatte.

Tab. 10. Zusammenstellung der Mittelwerthe der Versuchsanstalt in Bezug auf den Einfluß der Erhärtungsart.

Mittlere Zugfestigkeit kg/qcm.

Mischung	1 Gew.-Thl. Cement + 1 Gew.-Thl. Rheinsand			1 Gew.-Thl. Cement + 3 Gew.-Thl. Rheinsand		
Erhärtungsart	24 Stunden im feuchten Raume, die übrige Zeit unter Wasser	24 Stunden im feuchten Raume, drei Tage im Wasser, dann in Kellerluft	24 Stunden im feuchten Raume, dann in Kellerluft	24 Stunden im feuchten Raume, die übrige Zeit unter Wasser	24 Stunden im feuchten Raume, drei Tage im Wasser, dann in Kellerluft	24 Stunden im feuchten Raume, dann in Kellerluft
Nach 28 Tagen						
Cement A	24,9	32,9	28,4	18,5	30,6	24,5
„ B	21,1	34,0	30,9	18,5	31,7	24,6
„ C	31,0	37,8	32,7	21,8	29,9	27,2
„ D	26,3	36,3	32,7	22,0	33,5	30,1
„ F	24,7	33,6	34,5	18,8	31,5	30,3
„ G	26,1	41,7	36,2	19,3	30,4	26,8
„ H	23,9	30,5	33,3	21,2	33,1	32,4
„ J	26,3	35,6	34,4	20,1	35,0	27,8
„ L	20,7	33,3	32,4	21,0	33,4	30,0
„ U	23,9	36,8	32,0	22,1	36,3	33,0
Nach 3 Monaten						
Cement A	32,6	48,9	38,5	23,1	44,9	42,4
„ B	29,1	45,1	42,3	24,6	38,2	32,0
„ C	40,0	45,9	37,3	28,9	35,3	37,3
„ D	34,9	40,7	36,1	26,5	39,5	39,4
„ F	26,8	40,7	41,1	22,8	37,5	37,4
„ G	33,0	37,7	35,9	23,2	32,9	30,3
„ H	26,9	40,3	34,8	23,9	34,4	35,2
„ J	30,1	42,7	36,8	21,8	33,0	29,1
„ L	24,5	39,0	33,0	22,4	39,2	29,6
„ U	38,3	35,4	32,5	26,9	33,3	23,5
Nach 1 Jahr						
Cement A	38,2	41,7	39,7	27,6	35,2	38,6
„ B	39,6	54,7	55,4	29,1	49,2	44,0
„ C	45,8	41,4	45,2	30,7	39,0	47,6
„ D	47,8	36,5	36,4	35,7	43,0	46,9
„ F	38,5	49,7	46,6	33,6	44,6	42,8
„ G	41,6	43,8	42,0	29,6	45,5	43,9
„ H	37,8	45,2	48,7	31,8	46,2	45,5
„ J	39,5	51,6	48,2	29,9	49,2	44,7
„ L	34,1	49,0	45,5	28,8	48,2	48,2
„ U	45,9	41,4	44,0	33,2	40,6	44,8
Nach 2 Jahren						
Cement A	38,8	43,6	41,5	30,3	60,9	59,7
„ B	38,1	52,8	50,5	28,8	63,3	53,8
„ C	42,4	39,4	57,2	29,7	39,2	45,1
„ D	42,8	62,5	50,1	38,4	49,5	59,5
„ F	37,7	62,9	64,3	35,4	59,2	59,6
„ G	44,4	53,1	51,4	27,8	49,5	49,4
„ H	43,8	66,1	68,6	34,4	57,2	57,8
„ J	38,1	46,2	49,4	26,8	47,0	46,2
„ L	34,6	62,4	61,9	30,1	58,4	61,4
„ U	42,1	39,4	53,5	33,8	51,7	57,5

Tab. 11. Ergebnisse der Beobachtung von 10 Cementen im Witterungseinfluß.

Von jedem Cement wurden hergestellt:

2 Medaillons,
2 Rosetten,
2 Kanaldeckel.

Je ein Probestück blieb drei Tage im geschlossenen Raum (Halle) und ist bezeichnet mit dem Buchstaben des Cementes, dem Datum der Anfertigung und dem Zeichen 3 T. H. Nach drei Tagen kamen die Proben ins Freie.

Die übrigen drei Probestücke blieben vier Wochen im geschlossenen Raum und kamen hierauf ins Freie. Sie tragen die Bezeichnung 4 W. H.

Alle Probestücke sind in gleicher Weise hergestellt, nämlich aus einem sogenannten Vorguß von 1 Cement + 1 Rheinsand, einem „Nachguß" von 1 Cement + 2 Rheinsand und aus darauf gestampftem Beton von 1 Cement + 4 Kiessand. (Alle Mischungen nach Maßtheilen.)

Cementarbeiten für den Verein deutscher Portlandcement-Fabrikanten.

Cementmarke	Versuchsobjekt	Angefertigt am	Bezeichnet	Im bedeckten Raume	Ins Freie gesetzt am	Besichtigt am		
A	Medaillon . .	13. 3. 96	A. 13. 3. 96. 3 T. H.	3 Tage	16. 3. 96	13. 6. 96	13. 3. 97	13. 3. 98
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		Kantenrisse	Kantenrisse
	Medaillon . .	13. 3. 96	A. 13. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	10. 4. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		Kantenrisse	Kantenrisse
							gut	gut
B	Medaillon . .	19. 3. 96	B. 19. 3. 96. 3 T. H.	3 Tage	22. 3. 96	19. 6. 96	19. 3. 97	19. 3. 98
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	Kantenrisse	Kantenrisse	Kantenrisse
	Medaillon . .	19. 3. 96	B. 19. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	16. 4. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	starke Kantenrisse	starke Kantenrisse	starke Kantenrisse
						gut	gut	gut
C	Medaillon . .	19. 3. 96	C. 19. 3. 96. 3 T. H.	3 Tage	22. 3. 96	19. 6. 96	19. 3. 97	19. 3. 98
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„			
	Medaillon . .	19. 3. 96	C. 19. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	16. 4. 96			
	Rosette	„	„	„	„			
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„			
D	Medaillon . .	19. 3. 96	D. 19. 3. 96. 3 T. H.	3 Tag	22. 3. 96	19. 6. 96	19. 3. 97	19. 3. 98
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	einige Kantenrisse	einige Kantenrisse	Kantenrisse
	Medaillon . .	19. 3. 96	D. 19. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	16. 4. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„	gut	„	ein Riß (Arm)
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	viele Kantenrisse	viele Kantenrisse	viele Kantenrisse
						gut	gut	gut
F	Medaillon . .	28. 3. 96	F. 28. 3. 96. 3 T. H.	3 Tage	31. 3. 96	28. 6. 96	28. 3. 97	28. 3. 98
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	ein Kantenriß	2 Kantenrisse	2 Kantenrisse
	Medaillon . .	28. 3. 96	F. 28. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	25. 4. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„	gut	„	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	gut	Kantenrisse	Kanten- u. Haarrisse
							gut	gut
G	Medaillon . .	11. 5. 96	G. 11. 5. 96. 3 T. H.	3 Tage	15. 5. 96	11. 8. 96	11. 5. 97	11. 5. 98
	Rosette	„	„	„	„	gut	gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		Kantenrisse	Kantenrisse
	Medaillon . .	11. 5. 96	G. 11. 5. 96. 4 W. H.	4 Wochen	8. 6. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		„	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		1 Kantenriß	2 Kantenrisse
							gut	Haarrisse (Oberhaut)

Tabelle 11 (Fortsetzung).

Cementmarke	Versuchsobjekt	Angefertigt am	Bezeichnet	Im bedeckten Raume	Ins Freie gesetzt am	Besichtigt am		
						11. 8. 96	11. 5. 97	11. 5. 98
H	Medaillon . .	11. 5. 96	H. 11. 5. 96. 3 T. H.	3 Tage	15. 5. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		Kantenrisse	Kantenrisse
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		gut	Haarrisse (Oberhaut)
	Medaillon . .	11. 5. 96	H. 11. 5. 96. 4 W. H.	4 Wochen	8. 6. 96	ein kleiner Riß	2 kleine Risse	Risse nicht mehr aufzufinden
	Rosette	„	„	„	„	mehrere kl. Risse	Kantenrisse	Kantenrisse
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„	gut	Haarrisse in der Oberhaut	Haarrisse (Oberhaut)
						Kamen stumpf aus den Formen, am 28. 6. 96. gut	28. 8. 97	28. 8. 98
J	Medaillon . .	28. 3. 96	J. 28. 3. 96. 3 T. H.	3 Tage	31. 3. 96		gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		„	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		„	gut
	Medaillon . .	28. 3. 96	J. 28. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	25. 4. 96		„	gut
	Rosette	„	„	„	„		1 Kantenriß	2 Kantenrisse
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		gut	Haarrisse (Oberhaut)
						28. 6. 96	28. 3. 97	28. 8. 98
L	Medaillon . .	28. 3. 96	L. 28. 3. 96. 3 T. H.	3 Tage	31. 3. 96		gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		„	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		„	gut
	Medaillon . .	28. 3. 96	L. 28. 3. 96. 4 W. H.	4 Wochen	25. 4. 96	gut	feine Risse	Innen feine Risse und Kantenrisse
	Rosette	„	„	„	„		gut	gut
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		„	Haarrisse (Oberhaut)
						22. 8. 96	22. 5. 97	22. 5. 98
U	Medaillon . .	22. 5. 96	U. 22. 5. 96. 3 T. H.	3 Tage	26. 5. 96		gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		Kantenrisse	Kantenrisse
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		gut	Haarrisse (Oberhaut)
	Medaillon . .	22. 5. 96	U. 22. 5. 96. 4 W. H.	4 Wochen	19. 6. 96	gut	gut	gut
	Rosette	„	„	„	„		Kantenrisse	viele Kantenrisse
	Kanaldeckel . .	„	„	„	„		gut	Haarrisse (Oberhaut)

den frischen Zustand des Cementkuchens oder etwa auf andere Ursachen (Fabrikationsfehler) zurückzuführen sind. Um dies zu entscheiden, müßte man sich mindestens mehrere Wochen Zeit zur Prüfung lassen und damit würden die Kochproben aus der Reihe der **beschleunigten** Proben ausscheiden.

B. Normenfestigkeit und Raumbeständigkeit nach 28 Tagen (Tab. 6).

Die Prüfungsergebnisse der 28 Tage alten Proben bilden den Maßstab für die normenmäßige Beurtheilung der Cemente. Dies hat Veranlassung gegeben, sie besonders zusammenzustellen und mit der Kochprobe und Preßkuchenprobe zu vergleichen, soweit für diese gleichalterige Prüfungen ausgeführt wurden.

Nach den Ergebnissen der Normenprobe wären — wie bereits erwähnt — sämmtliche Cemente als raumbeständig anzusehen, nach den Ergebnissen der Koch- und Preßkuchenprobe dagegen nicht und zwar scheinen hiernach die Marken A, B, C, F, J, U besonders unzuverlässig zu sein.

Die Festigkeitsergebnisse nach 28 Tagen kennzeichnen nur die Cemente L und U als normenmäßig; U ist aber nach der Koch- und Preßkuchenprobe der unzuverlässigste Cement.

Die Cemente D und G, welche durch die Kochprobe als verdächtig gekennzeichnet wurden, sind nur in der Druckfestigkeit hinter den Normen zurückgeblieben; die Cemente F und H da-

Tab. 12. **Ergebnisse der chemischen Analyse.**

Cement-Marke	In Salzsäure unlöslicher Rückstand %	Kieselsäure %	Eisenoxyd %	Thonerde %	Kalk %	Magnesia %	Schwefelsäure %	Glühverlust %
A	0,75	21,27	3,28	6,34	63,62	0,91	0,91	2,26
B	1,06	21,10	2,69	7,93	58,67	1,98	1,62	2,55
C	0,36	19,47	4,12	8,41	61,23	1,70	1,73	1,36
D	1,12	19,49	3,20	8,86	59,49	1,37	1,54	4,22
F	1,58	21,31	3,22	7,64	56,92	2,27	2,25	2,89
G	0,67	21,25	2,80	7,44	62,03	1,08	1,43	1,91
H	0,41	22,54	2,80	6,25	60,08	1,55	1,79	2,28
J	0,71	20,96	2,73	7,45	61,12	1,86	1,62	2,42
L	0,91	20,34	2,82	7,94	59,88	1,06	1,40	2,67
U	0,49	20,63	3,01	6,52	61,88	0,72	2,14	2,70

gegen, welche die Kochprobe bestanden, genügen den Normen weder in Bezug auf Zug- noch auf Druckfestigkeit.

Das Verhalten der Cemente in Bezug auf Raumbeständigkeit nach der Kochprobe und der Preßkuchenprobe im Vergleich zur Festigkeit ist somit durchaus kein gesetzmäßiges, was übrigens auch nicht erwartet wurde.

Die Festigkeit aller Cemente schwankt in sehr weiten Grenzen und auch das Verhältniß der Zugfestigkeit zur Druckfestigkeit ist sehr wechselnd, selbst wenn man die Mittelwerthe aus den Ergebnissen je dreier Versuchsstellen in Betracht zieht. Außerdem zeigen die Ergebnisse der Versuchsstellen unter einander z. Th. große Abweichungen, die in der verschiedenartigen Versuchsausführung und den wechselnden Temperaturverhältnissen begründet sind. Im Allgemeinen sind die Cemente, normenmäßig betrachtet, hinsichtlich der Festigkeit minderwerthig.

Weiter unten wird noch gezeigt werden, daß ganz allgemein der Erhärtungsfortgang nicht nur in der Mischung mit Normalsand, sondern auch mit Rheinsand in fetter und magerer Mischung unabhängig ist von denjenigen Eigenschaften, welche durch die beschleunigten Raumbeständigkeitsproben angezeigt werden.

C. Messung der Längenänderung (Tab. 7, 7a, 7b).

Die in der Tab. 7b zusammengestellten Mittelwerthe der Messungen aller betheiligten Kommissionsmitglieder weichen für die einzelnen Cemente so erheblich von einander ab, daß die Ergebnisse zu Schlußfolgerungen über die größere oder geringere Raumbeständigkeit der Cemente nicht benutzt werden können.

Die Ansichten der Kommissionsmitglieder über die Brauchbarkeit des Meßverfahrens mit dem Bauschinger-Apparat unter Verwendung von Glas- oder Metallplättchen gingen in Folge dieses Ergebnisses auseinander, dennoch sind die Mittelwerthe mitgetheilt worden, weil sie vielleicht Anlaß zu einer Verbesserung der Meßmethode geben. Trotz der Abweichungen an den einzelnen Versuchsstellen ist aus den Ergebnissen zu ersehen, daß die meisten geprüften Cemente (A, B, C, D, G, H) in reinem Zustande sich bei der Erhärtung unter Wasser bis zu 2 Jahren ausdehnen. Die Ausdehnung schreitet nach 3 Monaten Alter der Proben nur noch langsam fort. Die Stäbe aus dem Mörtel 1 : 3 zeigen meist (B, C, D, G, H, L) bis zu einem Jahr Alter geringe Dehnung und beginnen dann wieder zu schwinden. Die Mittelwerthe aus den Messungen der Versuchsanstalt sind in Tab. 7a und in den Schaulinien Fig. 3 und 4 dargestellt.

Auffallende Abweichungen zeigen bei diesen Versuchen die Stäbe aus reinem Cement U, die schon nach 28 Tagen bedeutende Dehnung aufweisen, die bis zu 2 Jahren noch zunimmt.

Die Stäbe aus Sandmörtel 1 : 3 zeigen in der Versuchsanstalt stärkere Schwindungen, als die Stäbe aus reinem Cement und zwar beginnt die Schwindung, wie der Verlauf der Schaulinien deutlich zeigt, meist nach einem Jahre erheblich zu werden.

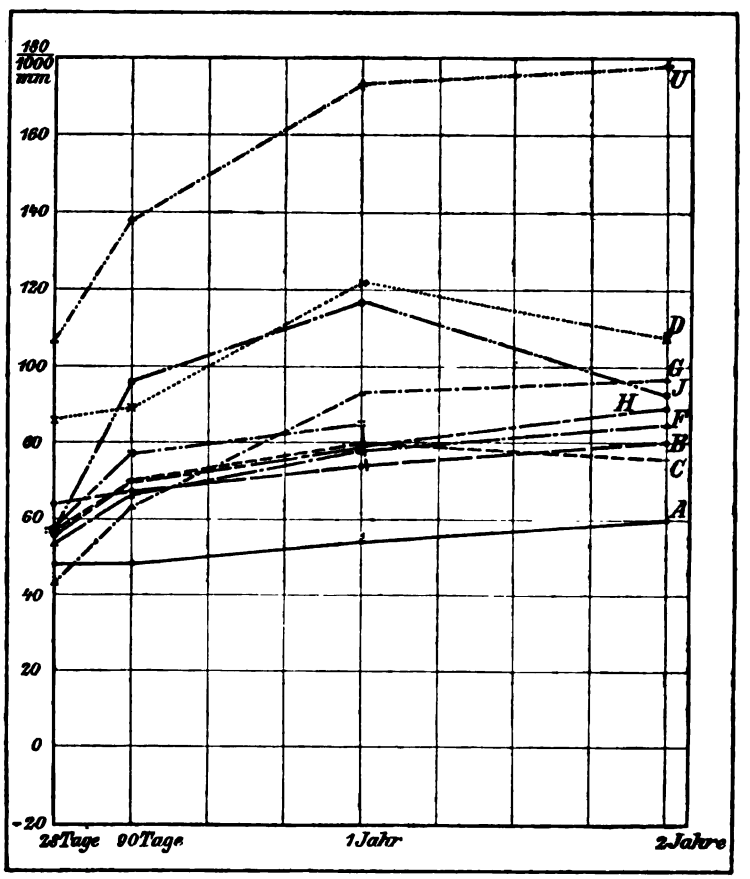


Fig. 3. Längenänderungen von Stäben aus reinem Cement bis zu 2 Jahren Alter. (Messungen der Versuchsanstalt.)

D. Festigkeit der Cemente mit Rheinsand.

Aus Tab. 8, 8a, 9, 9a und 10 läßt sich folgendes ersehen:

1. Wassererhärtung. Die Festigkeit der Cemente unter Wasser nimmt bis zu Jahresfrist, sowohl in der Mischung 1 : 1, wie 1 : 3 bei sämmtlichen Cementen stetig zu. Von 1 bis 2 Jahr Alter hat die Festigkeit der Cemente sich im Allgemeinen nicht wesentlich geändert, sie scheint nur beim Cement C etwas zurückgegangen zu sein.

2. 3 Tage Wasser, dann Lufterhärtung. Die Festigkeit der Cemente hat für diese Erhärtungsart bei den meisten Cementen in beiden Mischungen einen ziemlich regelmäßigen Fortgang genommen und bei einzelnen schließlich eine beträchtliche Höhe erreicht. Cement J hat nach einem Jahr einen Festigkeitsrückgang erlitten. Andere Cemente weisen

Schwankungen im Erhärtungsfortgang auf (A, C, G, J, L, U), die bei dem Cement C erheblich sind. C hat in der Mischung 1 : 1 Festigkeitsverminderung erlitten und zeigt in der Mischung 1 : 3 nur geringen Festigkeitszuwachs. Geringe Festigkeitszunahmen haben auch die Cemente L und U.

Kein Cement hat sich indessen als besonders unzuverlässig in Bezug auf Festigkeit erwiesen. Wie weit die vorkommenden Abweichungen auf Fehler des Versuchsverfahrens oder andere Umstände zurückzuführen sind, läßt sich schwer feststellen.

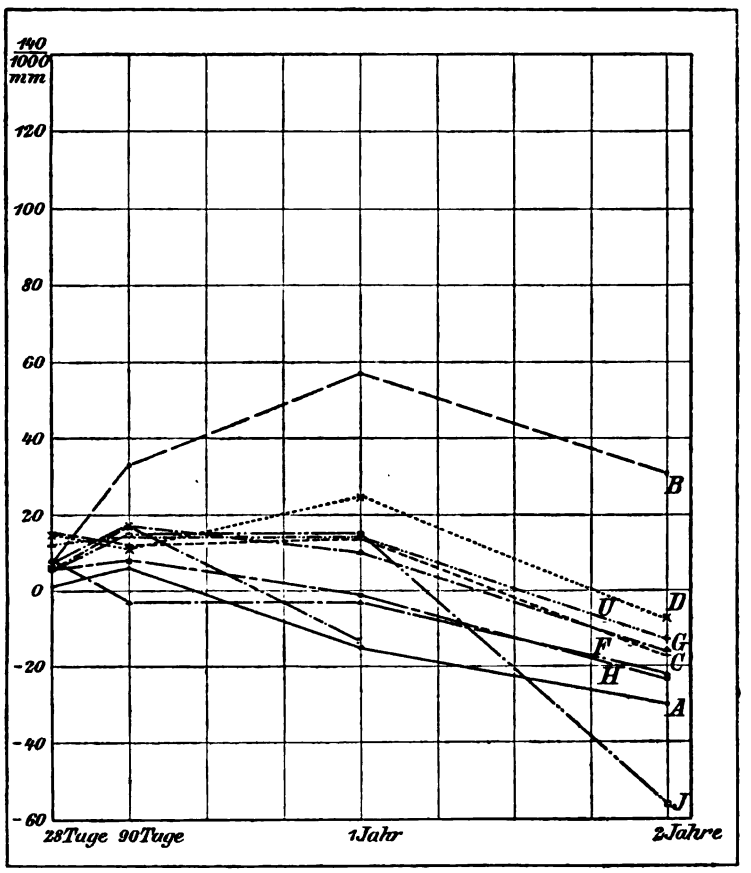


Fig. 4. Längenänderungen von Stäben aus 1 + 3 Mörteln von Cement bis zu 2 Jahren Alter. (Messungen der Versuchsanstalt.)

3. Lufterhärtung. Bei Betrachtung der Festigkeitsergebnisse der an der Luft erhärteten Proben fällt besonders auf, daß häufig an demselben Cement von der einen Versuchsstelle Festigkeitsrückgang beobachtet wurde, von der anderen dagegen im gleichen Zeitabschnitte nicht. Daraus ist zu schließen, daß auf die Körper dieser Versuchsreihen besonders stark örtliche (klimatische) Einflüsse gewirkt haben. Wärme und Feuchtigkeit der Luft sind bei der Erhärtung der Proben an der Luft naturgemäß von besonderem Einfluß, und da sie niemals an zwei Orten gleich sein werden, können auch die Festigkeitszahlen, welche an verschiedenen Orten beim Erhärten an der Luft gefunden wurden, nicht direkt mit einander verglichen werden.

Dieser Einfluß kommt naturgemäß bei den Zugfestigkeitsprobekörpern wegen deren kleinen Querschnittsabmessungen noch mehr zum Ausdruck, als dies bei Druckkörpern der Fall sein würde.

Im Durchschnitt aus allen Versuchen zeigt sich, daß die meisten Cemente ihre Festigkeit auch an der Luft weiter entwickelt haben, wenn auch der Erhärtungsfortgang bei einzelnen (G, J, U) nur gering ist, und wenn auch wiederholt in einzelnen Zeitabschnitten, namentlich nach 3 Monaten, scheinbar Festigkeitsrückgänge eintreten (B, D, G, J in der Mischung 1 : 1 und A, C, G, L, U in der Mischung 1 : 3).

Am unzuverlässigsten scheinen in diesen Reihen die Cemente G und J zu sein.

Betrachtet man nun die während des Erhärtungsverlaufes der Festigkeitskörper der verschiedenen Cemente beobachteten durch die Festigkeitswerthe festgestellten abweichenden Erscheinungen insgesammt, so wird man vergeblich einen Zusammenhang mit den Ergebnissen der beschleunigten Raumbeständigkeitsproben suchen. Zum Beispiel haben die Cemente F und H sich in den beschleunigten Proben nicht wesentlich anders verhalten, wie die Cemente C und L, während sich bei den Festigkeitsproben die Cemente F und H besonders durch regelmäßigen Erhärtungsfortgang auszeichnen und gerade C und L auffallend schwankende Festigkeitszahlen geliefert haben.

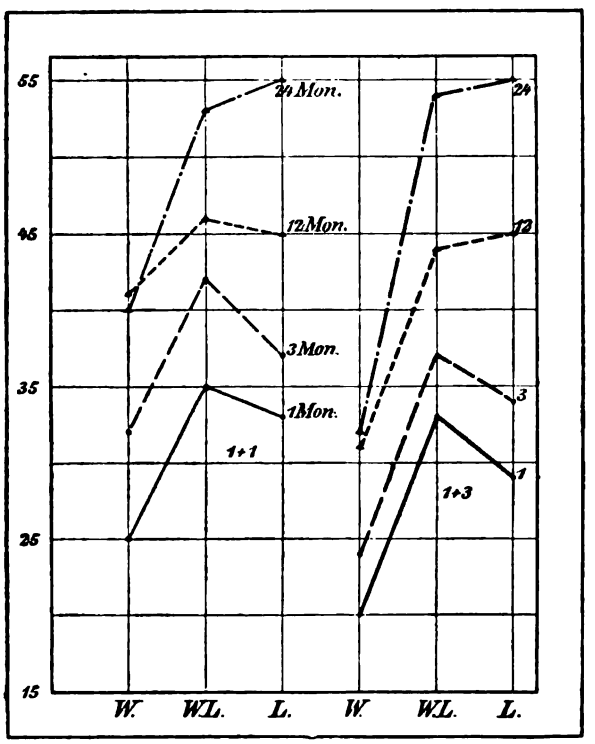


Fig. 5. Einfluß der Erhärtungsart bei verschiedenem Alter.
(Mittel aus 10 Cementen der Versuchsanstalt.)

Von allgemeinem Interesse ist, daß die Versuche den erheblichen Einfluß der Aufbewahrungsart der Proben auf die spätere Festigkeit gezeigt haben. Namentlich aus den Mittelwerthen der Versuchsanstalt (Tab. 8, 9 und 10) und der nach ihnen aufgetragenen zeichnerischen Darstellung (Fig. 5) ist klar ersichtlich, daß die Cemente bei Luftlagerung sowohl in fetter als in magerer Mischung erheblich höhere Festigkeiten erreichen, als bei Wasserlagerung, und daß bis zu 3 Monaten Alter die Festigkeit solcher Proben am höchsten ist, die einige Tage im Wasser liegen und dann an die Luft kommen.

Erklärlicher Weise machen sich diese Einflüsse auf die Zugfestigkeit der mageren Mischung stärker geltend, als auf die der fetteren Mischung, weil letztere dichtere Körper erzielt.

E. Verhalten der Cementwaaren im Freien.

Alle Medaillons, Rosetten und Kanaldeckel waren, bevor sie ins Freie gesetzt wurden, gut erhärtet, fest und bis zu 4 Wochen rißfrei. Später haben sich jedoch beim Lagern im Freien an den Proben mehrfach Kantenrisse und feine Haarrisse gebildet, erstere namentlich an den Rosetten, letztere an den Kanaldeckeln.

Die Kantenrisse sind vorwiegend an denjenigen Proben aufgetreten, welche erst nach 28 Tagen ins Freie kamen, die also in geschlossenem Raum länger feucht gehalten wurden und dadurch in ihrer absichtlich fetten Vorgußschicht gegen Rißbildung empfindlicher geworden waren, als die schon nach 3 Tagen ins Freie gesetzten Proben.

Die Erscheinung, daß namentlich die Ränder der Rosetten zu Rißbildung neigen, ist vielleicht dadurch zu erklären, daß die Vertheilung der Masse in diesen Rändern besonders ungünstig ist, da sich der vorspringende Rand, der mehr als andere Stellen von dem Vorguß aufnimmt, nach hinten zu stark verdickt, so daß an dieser Stelle schädlich wirkende Oberflächenspannungen bei jedem Wärme- und Feuchtigkeitswechsel auftreten müssen.

Mit fortschreitendem Alter haben sich an den einzelnen Stücken die Risse vermehrt; Haarrisse in der Oberhaut sind im Wesentlichen erst nach 2 Jahren vorwiegend an den Kanaldeckeln der Cemente G, H, J, L, U beobachtet worden.

Es scheint, als sei die Mahlung der Cemente auf die Neigung zur Rißbildung von Einfluß. Die 4 gröbsten Cemente C, G, J und L haben die wenigsten Risse. Das bestätigt die anderweitig gemachte Erfahrung, daß Cemente von gröberer Mahlung weniger zur Bildung von Schwindrissen neigen, als sehr fein gemahlene Cemente.

Die ganze Art der Risse läßt darauf schließen, daß es sich hier thatsächlich nicht um Treibrisse, sondern um Schwindungsrisse handelt, die auf rasche Austrocknung der Oberflächen zurückzuführen sind, wie denn auch bekanntlich die meisten Cementwaaren, die in den äußeren Schichten aus fetten Cementmischungen bestehen, im Freien verhältnißmäßig schnell sich mit feinen Haarrissen überziehen.

Vergleicht man die Zahl und Stärke der an den beobachteten Gegenständen aufgetretenen Risse mit dem Verhalten der Cemente bei den beschleunigten Raumbeständigkeitsproben, so läßt sich zwischen beiden Beobachtungsarten keine Abhängigkeit erkennen.

Sieht man von den beobachteten feinen Rissen ab, so sind sämmtliche Cementgegenstände nach mehr als zweijähriger Beobachtungsdauer als gut erhärtet, scharfkantig und wohlerhalten befunden worden; sie werden weiter beobachtet.

F. Chemische Zusammensetzung.

Vergleicht man schließlich die Ergebnisse der chemischen Analyse mit den Ergebnissen der übrigen Proben und dem Verhalten der Cemente im Freien, so läßt sich auch aus ihnen kein Zusammenhang der Erscheinungen erkennen.

Schlußfolgerungen.

Das Ergebniß der vorliegenden Versuche kann dahin zusammengefaßt werden, daß keine der sogenannten beschleunigten Raumbeständigkeitsproben geeignet ist, ein in allen Fällen zuverlässiges und schnelles Urtheil über die Verwendbarkeit eines Cementes in der Praxis zu gestatten.

Die Versuche haben ferner dargethan, daß alle zehn Cemente, welche die Kuchenprobe nach den Normen bestanden haben, auch bei der Verwendung zu Probekörpern und zu Cementwaaren raumbeständig (im Sinne der Praxis) sind. Die Festigkeitszunahme der Probekörper beim Erhärten in Wasser und Luft spricht für die praktische Verwendbarkeit der Cemente.

Die auf Seite 3 dieses Berichtes erwähnte Behauptung, daß die Normenproben zur Beurtheilung eines Cementes ungenügend seien, besonders dann, wenn der Cement bei der praktischen Verwendung an der Luft erhärten soll, hat durch die Versuche der Kommission keine Bestätigung erfahren. Die Kommission ist indessen bereit, noch weitere Versuche auszuführen und ersucht hiermit die Befürworter der beschleunigten Raumbeständigkeitsproben, solche Cemente in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen, welche die Normenproben bestehen, den beschleunigten Proben nicht genügen und in der Praxis treiben. Die Cemente würden thunlichst bis zum 1. Oktober 1900 an die Versuchsanstalt zu senden sein.

Bis es gelingt, eine Raumbeständigkeitsprobe aufzufinden, welche die Prüfung zuverlässig und in kürzerer Zeit als die Normenprobe gestattet, muß die Kuchenprobe der Normen als entscheidend beibehalten werden.

Bei der praktischen Verwendung von Portlandcement empfiehlt es sich jedoch, in solchen Ausnahmefällen, in denen der Cement bei höherer Wärme beansprucht werden soll, den Cement auch unter ähnlichen Verhältnissen bei höheren Wärmegraden zu prüfen, wie bei den oben behandelten beschleunigten Proben.

Für die Redaktion verantwortlich: A. Martens. — Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

n zehn Portland-Cementen

[illegible]

Fig. 16.
Prüfungs Pressküchenprobe.
[illegible]

[illegible]ndigkeitsproben mit dem Cement A.

[illegible]

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

Fünfzehnter Jahrgang. 1897. — Mit 2 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. Heft. **Prof. Rudeloff.** Untersuchung über den Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. — **Gary.** Prüfung natürlicher Gesteine. — **Gary.** Prüfung von künstlichem Asphalt. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: a. Fehlerhafte Terrazzoplatten. b. Mangelhafte Betonmischungen. c. Verwendungsmöglichkeit von Scheideschlamm aus der Zuckerfabrikation. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a. Durchlässige Stellen im Papier. b. Imitirtes Leder aus japanischem Papier. — Bekanntmachung.

2. Heft. **Prof. Martens.** Betrachtungen über Cementmörtel und Beton. — **Prof. Rudeloff.** Einfluß des Prüfungsverfahrens auf das Ergebniß der Biegeproben bei niederen Wärmegraden. — **Herzberg.** Alte Papiere. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: c. Stoffprüfung. d. Festes Packpapier.

3. u. 4. Heft. **Prof. Rudeloff.** Bericht über die Ergebnisse von Voruntersuchungen mit Drähten und Litzen zur Feststellung des Einflusses der Konstruktion auf die Festigkeitseigenschaften von Drahtseilen.

5. Heft. **Gary.** Cementuntersuchungen aus dem Betriebsjahre 1896/97. — **Herzberg.** Normalpapiere. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: Prüfung alter Mörtel. — **Prof. Rudeloff.** Ueber den Einfluß der Versuchslänge auf die Festigkeit von Hanfseilen.

6. Heft. Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1896/97. **Prof. Dr. Finkener.** Zusammensetzung von eisernen Blechen und Röhren, die sich beim Gebrauch nicht bewährt haben. — **Prof. Rudeloff.** Untersuchungen von Kies und Steinschlag zur Beurtheilung ihres Werthes als Stopfmaterial für den Eisenbahnoberbau. — **Herzberg.** Normalpapiere.

Sechzehnter Jahrgang. 1898. — Mit 8 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. Heft. **Gary.** Über die Ursachen der Abweichungen in den Festigkeits-Ergebnissen der Cementprüfung an verschiedenen Orten. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: Zeitungsdruckpapiere.

2. Heft. **Prof. Martens.** Prüfung eines Drahtseiles von 90 mm Durchmesser auf Zugfestigkeit. — **Gary.** Prüfung der Hammerapparate, Bauart Böhme. — **Dr. Holde** und **Dr. Allen.** Die quantitative Bestimmung des Paraffins in Destillaten des Rohpetroleums und des Braunkohlentheers. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: 1. Verwendbarkeit verwitterter Gesteine zu Bauzwecken. 2. Prüfung von Trottoirplatten auf Haftvermögen.

3. Heft. Bekanntmachung. **Gary.** Normalsande. — **Herzberg.** Die Schäfferschen Papierversuche. — **Prof. Martens** und **Dr. Holde.** Die Flammpunktsbestimmung von hochsiedenden Erdöldestillaten.

4. Heft. **Prof. Rudeloff.** Ueber den Einfluß der Wärme, chemischen Zusammensetzung und mechanischen Bearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Kupfer. — Vergleichende Betrachtungen über einige Ergebnisse von Versuchen mit Garnen und Seilen aus Hanf. Von **Prof. B. Kirsch** in Wien („Mittheilungen des Technologischen Gewerbemuseums" 1898) nebst Entgegnung von **Prof. M. Rudeloff.** — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: 1. Ausbildung im Papierprüfen. 2. Hektographenpapier.

5. Heft. **Gary.** Prüfung natürlicher Gesteine in den Betriebsjahren 1895/96 bis 1897/98. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: 1. Holzfreies Papier. 2. Tauenpapier.

6. Heft. Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1897/98. — **Heyn.** Mikroskopische Untersuchungen an tiefgeätzten Eisenschliffen. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: Thon als Dichtungsmaterial.

Von den im Anschluß an die „**Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten**“ zur Ausgabe gelangenden **Ergänzungsheften** sind erschienen:

1887.

Heft I. **Die Festigkeitseigenschaften des Magnesiums.** Von A. Martens. Mit 3 Taf. Preis M. 4,—.

Heft II. **Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.** Von A. Martens. Preis M. 2,—.

Heft III. 1. **Mikroskopische Untersuchung des Papiers.** Von W. Herzberg. Mit 2 Lichtdrucktafeln. — 2. **Ergebnisse der Prüfungen von Apparaten zur Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Papier.** Von A. Martens. Mit 1 Tafel. Preis M. 5,—.

Heft IV. **Ueber Druckpapiere der Gegenwart.** Von A. Martens. Preis M. 1,—.

1888.

Heft I. Ergänzungen zu den im 2. Ergänzungshefte 1887 veröffentlichten **Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.** 1. **Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes von Metalldrähten.** Von Prof. A. Paalzow. Mit 1 Tafel. — 2. **Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Kleingefüge einerseits und der Leitungsgüte des Telegraphendrahtes andrerseits.** Von Dr. H. Wedding. Mit 7 Tafeln. Preis M. 6,—.

Heft II. **Bericht über die Ergebnisse von Festigkeitsversuchen mit gelötheten Drahtseilen und Drähten.** Von A. Martens. Mit 2 Tafeln. Preis M. 8,—.

Heft III. **Schmierölunterſuchungen.** Von A. Martens. Mit 4 Tafeln. Preis M. 6,—.

Heft IV. **Untersuchung japanischer Papiere.** Von A. Martens. Mit 3 Tafeln. Preis M. 5,—.

Heft V. **Bericht** über die im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe ausgeführten vergleichenden Untersuchungen von **Seilverbindungen für Fahrstuhlbetrieb.** Theil I. Ergebniß der Untersuchungen für ruhende Belastung. Von A. Martens. Preis M. 2,60.

1889.

Heft I. **Resultate der Untersuchungen des in der Eifel vorkommenden vulkanischen Sandes in Bezug auf seine Verwendbarkeit zur Mörtelbereitung.** Von Dr. Böhme. Mit 2 Tafeln. Preis M. 3,—.

Heft II. **Untersuchungen von natürlichen Gesteinen auf Festigkeit, specifisches Gewicht, Härtegrad, Wasseraufnahme, Cohäsionsbeschaffenheit und Wetterbeständigkeit.** Von Dr. Böhme. Mit 1 Tafel. Preis M. 4,—.

Heft III. **Bericht** über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirthschaft, Domänen und Forsten ausgeführten **Holzuntersuchungen.** Von M. Rudeloff. Mit 2 Tafeln. Preis M. 7,—.

Heft IV. **Festigkeitsuntersuchungen mit Zinkblechen der schlesischen Aktien-Gesellschaft für Bergbau- und Zinkhüttenbetrieb zu Lipine O.-S.** Von A. Martens. Mit 2 Tafeln. Preis M. 4,—.

Heft V. **Schmierölunterſuchungen.** Von A. Martens. (Fortsetzung zum Ergänzungsheft III. 1888.) Mit 1 Tafel. Preis M. 10,—.

1890.

Heft I. **Versuche über die Beiz- und Rostsprödigkeit des Eisens und Stahls.** Bericht des Professors A. Ledebur in Freiburg nebst den Versuchsergebnissen der mechanisch-technischen Versuchsanstalt. Preis M. 3,—.

Heft II. **Untersuchungen mit Eisenbahnmaterialien,** ausgeführt im Auftrage des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten. Von Professor A. Martens. Mit 5 Tafeln. Preis M. 30,—.

1895.

Heft I. **Bericht über vergleichende Schmierölunterſuchungen,** ausgeführt in den Jahren 1889—1894. Von Dr. D. Holde. Preis M. 5,—.

1896.

Heft I. **Mittheilungen aus dem officiellen Bericht der im französischen Ministerium der öffentlichen Arbeiten gebildeten Commission des Méthodes d'Essai des Matériaux de Construction.** 1. Sitzungsperiode (1894). Band I. Allgemeine Grundlagen. Uebersetzt vom Assistenten Paul Zizmann. Preis M. 2,60.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

INDEXED
228227

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft I. 1900.

Bericht

über das

Verhalten hydraulischer Bindemittel im Seewasser

nach Versuchen der Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin im Auftrage der von dem Königlichen Ministerium der öffentlichen Arbeiten zu Berlin berufenen Kommission,

erstattet von

M. Gary,
Vorsteher der Abtheilung für Baumaterialprüfung.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 3 farbigen Tafeln.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1900.

Von den

Mittheilungen

aus den

Königlichen technischen Versuchsanstalten

zu Berlin

herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission

Jährlich 6—8 Hefte

liegen vollständig vor:

Erster bis siebenter Jahrgang. 1883 bis 1889.
Jeder Jahrgang in 4 Heften mit Tafeln und Textabbildungen.
Preis für den Jahrgang M. 10,—.

Achter bis siebzehnter Jahrgang. 1890 bis 1899.
Jeder Jahrgang in 6 Heften mit Tafeln und Textabbildungen.
Preis für den Jahrgang M. 12,—.

Fünfzehnter Jahrgang. 1897. — Mit 2 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. Heft. **Prof. Rudeloff.** Untersuchung über den Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. — **Gary.** Prüfung natürlicher Gesteine. — **Gary.** Prüfung von künstlichem Asphalt. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: a. Fehlerhafte Terrazzoplatten. b. Mangelhafte Betonmischungen. c. Verwendungsmöglichkeit von Scheideschlamm aus der Zuckerfabrikation. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a. Durchlässige Stellen im Papier. b. Imitirtes Leder aus japanischem Papier. — Bekanntmachung.

2. Heft. **Prof. Marten s.** Betrachtungen über Cementmörtel und Beton. — **Prof. Rudeloff.** Einfluß des Prüfungsverfahrens auf das Ergebniß der Biegeproben bei niederen Wärmegraden. — **Herzberg.** Alte Papiere. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: c. Stoffprüfung. d. Festes Packpapier.

3. u. 4. Heft. **Prof. Rudeloff.** Bericht über die Ergebnisse von Voruntersuchungen mit Drähten und Litzen zur Feststellung des Einflusses der Konstruktion auf die Festigkeitseigenschaften von Drahtseilen.

5. Heft. **Gary.** Cementuntersuchungen aus dem Betriebsjahre 1896/97. — **Herzberg.** Normalpapiere. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: Prüfung alter Mörtel. — **Prof. Rudeloff.** Ueber den Einfluß der Versuchslänge auf die Festigkeit von Hanfseilen.

6. Heft. Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1896/97. — **Prof. Dr. Finkener.** Zusammensetzung von eisernen Blechen und Röhren, die sich beim Gebrauch nicht bewährt haben. — **Prof. Rudeloff.** Untersuchungen von Kies und Steinschlag zur Beurtheilung ihres Werthes als Stopfmaterial für den Eisenbahnoberbau. — **Herzberg.** Normalpapiere.

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft I. 1900.

Bericht

über das

Verhalten hydraulischer Bindemittel im Seewasser

nach Versuchen der Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin im Auftrage der von dem Königlichen Ministerium der öffentlichen Arbeiten zu Berlin berufenen Kommission,

erstattet von

M. Gary,
Vorsteher der Abtheilung für Baumaterialprüfung.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 3 farbigen Tafeln.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1900.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
228227
ASTOR LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

I. Veranlassung zu den Versuchen.

Die Veranlassung zu den Versuchen lag in zwei Eingaben, welche von dem Cementtechniker Dr. Wilh. Michaelis in Berlin und von den rheinischen Traßproducenten im Jahre 1896 an das Königl. preußische Ministerium der öffentlichen Arbeiten gerichtet wurden.

Dr. Michaelis behauptete in einer zunächst als Flugblatt ausgegebenen Druckschrift: „Das Verhalten der hydraulischen Bindemittel zum Meerwasser," welche später mit einer Entgegnung des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten in den „Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes" Jahrg. 1896 S. 157 u. ff. abgedruckt wurde, auf Grund von Versuchen und hypothetischen Erwägungen die Verbesserungsfähigkeit des Portland-Cementes durch Zusätze von „Puzzolanen" insbesondere von Traß für Bauten im Meere.

Auf den Inhalt dieser Veröffentlichungen darf verwiesen werden. Es sei nur als wesentlich aus ihnen hervorgehoben, daß nach Michaelis Anschauungen und Versuchen — abgesehen von der physikalischen Beschaffenheit — „die kalkreichsten hydraulischen Bindemittel die im Meerwasser am wenigsten widerstandsfähigen sind," und „daß der freie resp. frei werdende Kalk die vornehmste Ursache der Zerstörung durch das Meerwasser ist."

Deshalb meint Michaelis, daß, wenn man diesem sich ausscheidenden Kalke Puzzolane darbietet, d. h. Substanzen, welche mit Kalkhydrat Cement bilden, die Menge des wirklichen „Cementes" im Mörtel erhöht werden kann, solcherart, daß gar kein Aetzkalk mehr in Krystallen abgelagert werden kann.

Dieser Auffassung steht der Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten gegenüber, welcher schon im Jahre 1882 in einer Eingabe an den preußischen Minister der öffentlichen Arbeiten hervorhob: „normale Cemente bedürfen eines sogenannten bessernden Zusatzes nicht," und diese Auffassung auch seither aufrecht erhalten hat. Versuche, welche von dem Verein unter Beihülfe des preußischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten seit dem Jahre 1894 mit Cementmörteln und Kalktraßmörteln im Meere (bei Westerland a. Sylt) ausgeführt worden sind, schienen die Ueberlegenheit des Portland-Cementes gegenüber anderen Bindemitteln, insbesondere auch den Traßkalkmörteln zu erweisen. Diese Versuche auf Sylt erstreckten sich indessen nicht auf Zusatz von Traß zu Cement. Dem Verein lagen damals über Traßzusatz zu Cement im Seewasser nur Festigkeitszahlen von vier Wochen alten Proben mit Nordseewasser im Laboratorium vor, die keine Verbesserung zeigten. Gegenüber der von Dr. Michaelis

behaupteten starken Verbesserung des Cementmörtels durch Traßzusatz in künstlichem Seewasser schon nach vier Wochen, war der Vorstand des Vereins der Ansicht, daß über die Wirkung von Traßzusatz zum Cement im Seewasser nur auf längere Zeit ausgedehnte Versuche im Meere selbst Aufschluß geben könnten.

Darauf beantragte Herr Dr. Michaelis behufs Prüfung der von ihm gemachten Vorschläge, betreffend die Verbesserung des Cementmörtels in seinem Verhalten im Seewasser, amtliche Versuche anstellen zu lassen und stellte für diese Versuche selbst einen namhaften Geldbetrag zur Verfügung.

Fast gleichzeitig legten die rheinischen Traßgrubenbesitzer (Vergl. Protokolle der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten 1893 S. 20. 1894 S. 28. 1895 S. 102. 1896 S. 84. 1897 S. 58 und Anh. II. 1898 S. 41. 1899 S. 45) in der bereits Eingangs erwähnten Eingabe gegen die Versuche des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten Verwahrung ein. Sie hoben hervor, daß die Leiter der Versuche mit der Eigenart des Trasses und seiner Verwendung im Mörtel nicht genügend vertraut waren und daß diesem Umstande die in Westerland erzielten Mißerfolge der Traßkalkmörtel zuzuschreiben seien.

> „Portland-Cement stellt ein fertiges Gemisch dar, das nach Zusatz von Wasser ohne jede sonstige Beimischung erhärten kann; dagegen ist Traß ein Material, das für sich allein gar nicht erhärtet, sondern seine Erhärtungsfähigkeit erst durch seine Verbindung mit Kalk (Aetzkalk) erhält. Es ist daher naturgemäß, daß, wenn man bei einem Vergleiche beider Mörtel zutreffende Ergebnisse erhalten will, dem fertigen Gemisch „Portland-Cement" auch ein fertiges Gemisch „Traß-Kalk" gegenüber gestellt werden muß, und erst diesem fertigen Gemischen der Sand zuzusetzen ist, ganz abgesehen von der Beachtung sonstiger technischer Manipulationen bei der Anfertigung der Probekörper, ausreichender Berücksichtigung der Temperatur u. s. w."

Nach Ansicht der Traßproduzenten mußten die von Seiten des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten und des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten in Sylt angestellten Versuche bezüglich des Traßmörtels nothwendiger Weise unrichtige Resultate ergeben. Jahrhundertelange Erfahrung spräche für die Verwendbarkeit des Traßkalkmörtels im Seewasser. Die Einwendungen der Vertreter der Traßindustrie gegen die Versuchsausführung des Cement-Fabrikanten-Vereins fanden in der Generalversammlung des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten ausführliche Entgegnung, (Vergl. Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten 1897 Seite 68 u. f.), welche aber nach der Meinung der Traßindustriellen auf unrichtigen Voraussetzungen beruht und nicht als Widerlegung angesehen wird.

Unter Hinweis auf die Versuche von Dr. Michaelis und auf eigene Versuche beantragten die Vertreter der Traßindustrie, ihnen eine geeignete Stelle zu bezeichnen, welcher sie ihre technischen Einwendungen und Vorschläge bezüglich der Traßmörtelproben vortragen dürften, und erklärten sich gleichzeitig bereit, zu den Kosten noch auszuführender Versuche über das Verhalten der hydraulischen Bindemittel im Seewasser im Verhältniß zur Bedeutung ihrer Industrie beizutragen.

II. Vorverhandlungen.

Die Aeußerungen der interessirten Parteien wurden der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt unterbreitet. Die Anstalt befürwortete bei dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten die sorgfältige Nachprüfung der von Dr. Michaelis aufgestellten Thesen. Sie hielt das Eingehen auf die Sache um so mehr für angezeigt, als — falls die von Michaelis gefundene Verbesserung der Portland-Cemente durch Zusatz von Puzzolanen wirklich stattfindet — einerseits die Industrie und das Bauwesen sehr erhebliche Vortheile hieraus ziehen könnte, andererseits im Interesse des bauenden Publikums Sorge getragen werden müßte, daß die Art und die Menge der Zumischmittel sich in gebotenen Grenzen hält und Fälschungen verhindert werden.

Schriftliche und mündliche Verhandlungen mit den Traßproducenten veranlaßten die Versuchsanstalt ferner zu dem Vorschlage, beide Fragen mit einander zu vereinen und eine Kommission bestehend aus Vertretern der königlichen Baubehörden, der Portland-Cement-Industrie, der Traßindustrie, der Versuchsanstalten und Herrn Dr. Michaelis mit der Berathung der Vorschläge und der Aufstellung von Arbeitsplänen zu betrauen.

Mit Erlaß vom 8. Januar 1897 hat der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten diesem Vorschlage stattgegeben und eine besondere Kommission berufen, der angehörten:

1. Als Vertreter des königlichen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten:
   Herr Geh. Ober-Baurath Lange
   „ Geh. Baurath Fülscher
   „ Reg.- und Baurath Eger
   „ Regierungsbaumeister Kratz.
2. Als Vertreter der Versuchsanstalten:
   Herr Geh. Bergrath Prof. Dr. Finkener
   „ Professor Martens
   „ Ingenieur und Abtheilungsvorsteher Gary.
3. Herr Dr. W. Michaelis.
4. Zwei vom Vorstande des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten zu bezeichnende Vertreter desselben
   (Herr Geh. Kommerzienrath Dr. Delbrück und Herr Rud. Dyckerhoff, in Vertretung Herr Dr. Goslich).
5. Ein Vertreter der Besitzer von Traßgruben
   (Herr Kommerzienrath G. Herfeldt, in Vertretung Herr P. Wagner).

Der Kommission, welche am 1. Februar 1897 im Ministerium der öffentlichen Arbeiten zum ersten Male zusammentrat, lagen folgende Fragen zur Beantwortung vor:

1. Sind die bisher stattgehabten Versuche über das Verhalten der hydraulischen Bindemittel im Seewasser, deren Ergebnisse vorgelegt werden, als ausreichend anzusehen, oder erscheint eine weitere Ausdehnung dieser Versuche zur Klarstellung der Frage erforderlich?
   Im Falle der Bejahung letzterer Frage:
2. Wo sind die Versuche auszuführen?
3. Welche Einrichtungen sind dazu erforderlich?
4. Wem ist die Leitung und Beaufsichtigung der Versuche zu übertragen?
5. Wem die Ausführung?
6. Welche Kosten werden erforderlich sein und wie sind dieselben aufzubringen?

Die Königl. mech.-techn. Versuchsanstalt konnte gemeinsam mit den der Kommission angehörenden Baubeamten die Vorlagen für die Berathungen vorbereiten. Sie hielt es für besonders wichtig, neben den Laboratoriumsproben Versuche mit großen Betonblöcken im Meere auszuführen, wie dies auch in Frankreich schon geschehen war, da sich bei den vom Cement-Fabrikanten-Verein ausgeführten Versuchen bereits gezeigt hatte, daß die kleinen Laboratoriumskörper theilweise bei heftigem Seegange und in Folge der schleifenden Wirkung des Seesandes in der Brandung litten und stark verschliffen. Diese Gesichtspunkte waren bei Aufstellung der nachstehend wiedergegebenen „Grundsätze", welche der Kommission vorgelegt wurden, in erster Linie entscheidend.

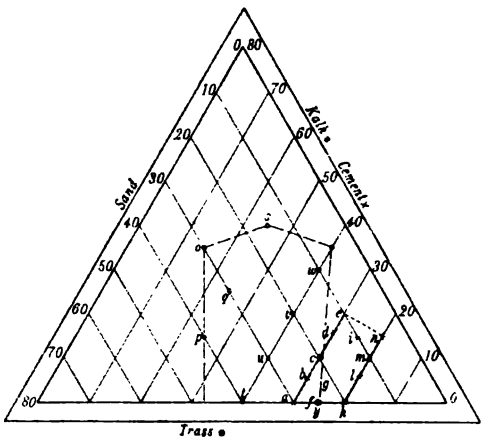


Fig. 1.

Um aus dem Verhalten der einzelnen Mörtel nach Möglichkeit die Gesetze ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Seewasser ableiten zu können, war die Wahl der Mischungen so gedacht, wie aus Fig. 1 ersichtlich ist.

Grundsätze[1]) für die Ausführung neuer Versuche mit hydraulischen Bindemitteln im Seewasser.

Mit allen zu verwendenden Bindemitteln und Zuschlagsmaterialien (Sand, Kies, Steinschlag ꝛc.) sind die zu ihrer Kennzeichnung erforderlichen Versuche auszuführen.

Zur Festlegung der anzuwendenden Einschlageverfahren sind besondere Vorversuche mit denselben Bindemitteln ꝛc. auszuführen.

1. Versuche im Meer (Beton).

A. Große Betonquadern in der zu den Buhnenbauten benutzten Größe und Form sind in der üblichen Weise herzustellen und nach 1 Jahr Erhärtung an der Luft in eine Buhne einzubauen. Es werde verwendet:
   a) Cementmörtel in 3 Mischungen,
   b) Kalktraßmörtel in 12 Mischungen,
   c) Cementtraßmörtel in 6 Mischungen.

   Verhalten zu beobachten von Jahr zu Jahr.

B. Aus denselben Mischungen wie oben werden angefertigt:
   Je 5 Zugproben mit 400 qcm Zerreißungsquerschnitt
   Je 5 Druckproben mit 1600 qcm gedrückter Fläche
   1. Reihe: Einige Tage alt in eine nur während der Ebbe trocken liegende Grube am Strande zu packen.
   2. Reihe: Nach ein Jahr Erhärtung an der Luft dem Wellenschlag an einem Buhnenkopf auszusetzen.
   3. Reihe: Nach Entformung in Süßwasser aufzubewahren.

   Zur Prüfung auf Zug- und Druckfestigkeit nach 5 Jahren Erhärtung.

[1]) Die Aufstellung eines genauen Arbeitsplanes war unmöglich, so lange nicht Zahl und Art der zu verwendenden Bindemittel und Zuschläge bekannt war.

Fragen: Welche Cemente (auch Puzzolan-Roman-Cement) verwenden?
Wie viele Cemente verwenden?
Welche Kalke, wie viel Kalke verwenden?
Welche Zuschläge an Stelle von Traß?
Welchen Sand, welchen Kies oder Steinschlag?
Beide oder welches von beiden?
Sind die Körper auch in anderen Altersklassen zu prüfen?

2. Versuche im Laboratorium (Mörtel).

C. Normalproben für Zug- und Druckfestigkeit nach 1, 3, 12, 36, 72 Monaten in Seewasser erhärtet.

a) Cementmörtel und Cementtraßmörtel.

1. Reihe: (Fette Mörtel.)
5 Mischungen für Zug und Druck in 5 Altersklassen.
2. Reihe: (Mittlere Gebrauchsmörtel.)
4 Mischungen wie oben.
3. Reihe: (Magere Mörtel.)
4 Mischungen wie oben.

b) Kalktraßmörtel.

1. Reihe: (Fette Mörtel.)
1 Mischung Zug und Druck in 5 Altersklassen.
2. Reihe: (Mittlere Gebrauchsmörtel.)
5 Mischungen wie oben.
3. Reihe: (Magere Mörtel.)
5 Mischungen wie oben.

Fragen: Alle diese Versuche auch in Süßwasser?
Alle Versuche mit je einem kalkreichen und kalkarmen Cement? bezw. mit je einem fetten und mageren Kalk?
Welche Zuschläge an Stelle von Traß?
Welchen Sand?
Welche Cementmarken? Welche Kalkmarken?
Versuche in noch höherem Alter? (12 Jahre.)

D. Versuche auf Durchlässigkeit vorstehender Mörtel für Süßwasser mit 2 Atm. Druck, in 2 Altersklassen (frisch und 1 Jahr alt).
Frage: Mit welchen und wie vielen Cementen?

E. Versuche auf Durchlässigkeit vorstehender Mörtel für Seewasser an Cylindern nach Pariser Modell in 2 Altersklassen (frisch und 1 Jahr alt).
Frage: Versuche auf Abnutzungswiderstand?

F. Chemische und physikalische Untersuchungen.
Studium der Erhärtungsvorgänge der verwendeten Bindemittel (chemisch, physikalisch, mikroskopisch), Studium der chemischen, physikalischen und mikroskopischen Veränderungen der Mörtel durch Seewasser und durch Süßwasser.

Die Kommission war in ihrer Mehrheit der Ansicht, daß die bisher von dem Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten über das Verhalten der hydraulischen Bindemittel im

Seewasser ausgeführten Versuche zwar zu Ende geführt werden müßten, aber nicht ausreichten, um die streitigen Fragen zu entscheiden.

Für den Arbeitsplan wurden die vorstehend aufgeführten Reihen — Ergänzungen und Kürzungen vorbehalten — in Aussicht genommen, unter der Voraussetzung, daß sich die Mittel aufbringen ließen.

In diesem Falle sollte die Herstellung der Proben A—C des vorstehenden Planes in Sylt, die der Proben D—F in der Versuchsanstalt zu Charlottenburg erfolgen. Zu diesem Zwecke sollte das Laboratorium in Westerland, welches bereits zu den früheren Versuchen gedient hatte, entsprechend erweitert und mit allen erforderlichen Einrichtungen versehen werden.

Die Leitung der Versuche sollte der Königl. mech.-techn. Versuchsanstalt nach Maßgabe der Beschlüsse der von Zeit zu Zeit zusammen tretenden Kommission übertragen werden, und die baulichen Arbeiten sollte ein Beamter der Königlichen Buhnenbau-Verwaltung unter Hinzuziehung eines Beamten der Versuchsanstalt leiten.

Eine besondere Unterkommission, bestehend aus den Herren Dyckerhoff, Eger, Finkener, Gary, Kratz, Martens, Michaelis und Wagner wurde mit der Aufstellung eines endgültigen Arbeitsplanes und Kostenanschlages beauftragt. Nach Kenntnißnahme dieser Vorschäge sollte über die Aufbringung der Kosten berathen werden.

Die Unterkommission trat am 27. Februar 1897 zu einer Vorbesprechung zusammen.

Mit Rücksicht auf die bedeutenden Kosten der Versuche im Großen und die bestehende Unsicherheit über die praktische Verwendbarkeit der Ergebnisse neigte die Mehrheit der Kommissionsmitglieder der Ansicht zu, zunächst eine amtliche und einwandfreie Nachprüfung der von Dr. Michaelis, Herfeldt und anderen ermittelten Ergebnisse vorzunehmen, um einen Ueberblick zu gewinnen, ob sich die aufgestellten Behauptungen bezüglich der Verbesserungsfähigkeit der Portland-Cemente durch Traß und die Haltbarkeit der Traßmörtel im Seewasser bewahrheiten. Insbesondere sollte durch die Vorversuche festgestellt werden, ob andere gleich fein gemahlene Stoffe im Portland-Cement nicht vielleicht dieselbe Wirkung (physikalisch) haben, wie Traß, oder ob und in wie weit chemische Vorgänge die Wirkung des Trasses hervorrufen.

Erst nach dem Ergebniß dieser Vorversuche sollte über ihre Fortsetzung und Erweiterung auf die kostspieligeren Versuche mit anderen Puzzolanen, sowie mit großen Betonkörpern u. s. w. Entscheidung getroffen werden. Die Vorversuche sollten aber so eingerichtet werden, daß sie bei späterer Fortsetzung und Erweiterung der Arbeiten nicht werthlos würden.

Herr Dr. Michaelis übernahm die Ausarbeitung eines Arbeitsplanes nach dieser Richtung hin, der den übrigen Kommissionsmitgliedern zur Aeußerung zuging und mit den Abänderungsvorschlägen am 7. Juli 1897 erneuten Verhandlungen der Kommission unterlag.

Unter Berücksichtigung der Beschlüsse dieser Sitzung, einiger später eingegangener Abänderungsvorschläge und nach den Ergebnissen erneuter Berathungen der Gesammtkommission am 22. November 1897 wurde der Arbeitsplan im Wesentlichen wie folgt festgestellt[1]).

---

[1]) Nach Vereinbarung des Arbeitsplanes übermittelte Herr Dr. Michaelis dem Herrn Minister eine soeben (26. Februar 1898) erschienene Abhandlung des Herrn René Feret, Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées à Boulogne sur mer, betitelt: „Etudes sur la constitution intime des Mortiers hydrauliques“ mit dem Antrage, die Arbeit der Kommission zu überreichen, um die in derselben entwickelte Untersuchungs-Methode auf Wirkung von Puzzolan-Zuschlägen mit zu verwerthen. Der Herr Minister stellte anheim, dem Ausschuß mit Rücksicht auf die in der Feret'schen Abhandlung niedergelegten Erfahrungen Vorschläge für etwaige Abänderungen des Arbeitsplanes

III. Arbeitsplan.

a) Mörtelstoffe.

1. Zu verwendende Cementsorten.

Es sollen nachstehend aufgeführte, schon für die Prüfungen des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten benutzte Fabrikate verwendet werden:

A. Portland-Cement aus Kreide der unteren Oder auf nassem Wege hergestellt, unter der Voraussetzung, daß er kalkreich und thonerdearm ist;

B.[1]) Portland-Cement aus schlesischem Kalkstein auf trockenem Wege hergestellt, unter der Voraussetzung, daß er kalkreich und thonerdereich ist;

C. Portland-Cement eines rheinischen Werkes auf trockenem Wege hergestellt, unter der Voraussetzung, daß er kalkarm und thonerdereich ist.

2. Zuschläge.

Als Zuschlagsmaterialien sollen Traß und Feinsand verwendet werden, letzterer, damit über die Frage, ob der Traßzusatz im Mörtel chemisch oder etwa nur physikalisch wirkt, Aufschluß erhalten wird[2]).

Der Traß soll aus den Gruben des Nettethales (Plaidt), der Feinsand als gemahlener Quarzsand von Hohenbocka bezogen werden[3]).

Traß und Feinsand sollen gleiche Feinheit haben. Der auf dem 900-Maschensieb verbleibende Rest ist so lange zu feinen, bis auch er durch das 900-Maschensieb geht[4]).

Bei allen Proben soll zunächst der Cement und der Zuschlag trocken innigst gemischt werden; darauf soll erst die Mischung des so hergestellten Bindemittels mit dem Sande und schließlich die Zufügung des Wassers erfolgen.

3. Sand.

Zur Herstellung der Mörtel soll Normalsand von Freienwalde benutzt werden. Für zwei Versuchsreihen mit zwei Cementen in der Mischung 1 Cement und 4 Sand für 7 Tage,

---

zu unterbreiten; indessen würde die Erörterung der Frage, in wie fern Zuschläge von Traß und Feinsand zum Portland-Cement verschiedenartig wirken, nach Inhalt des beschlossenen Arbeitsplanes eine dem Umfange der Versuche entsprechende Berücksichtigung finden. Herr Dr. Michaelis erklärte daraufhin, die in der Feret'schen Arbeit empfohlene Untersuchungsmethode selber neben den Arbeiten der Versuchsanstalt an Santorinerde erproben zu wollen.

[1]) Nachdem ein Theil der Probekörper bereits angefertigt war, ergab die chemische Analyse, daß der Cement B den gestellten Anforderungen nicht entsprach. Es wurde deshalb von derselben Fabrik ein Handels-Cement anderer Fertigung bezogen, der den Ansprüchen besser genügte und an Stelle des Cementes B unter der Bezeichnung D in die Reihen eingefügt wurde (vergl. S. 12). Die mit dem Cement B gefundenen Ergebnisse sind nachstehend ebenfalls — wenn auch nur zur Ergänzung — mitgetheilt worden.

[2]) Die gleichzeitige Verwendung von Hochofenschlacke als Zuschlagsmaterial wurde für wünschenswerth gehalten, aber für die späteren Versuche im Großen vorbehalten. Herr Dr. Michaelis wollte Versuche mit Santorinerde anstellen (vergl. Bemerkung auf S. 6—7).

[3]) Dem leitenden Beamten wurde es überlassen, die Bindemittel nach eigenem Ermessen und unter eigener Verantwortung möglichst durch Vermittelung einer größeren Bauverwaltung zu beschaffen. Herr Wagner empfahl für den Bezug des Trasses die Bauverwaltungen des Elb-Travekanals und die Städte Rostock, Köln und Bremen.

[4]) Herr Dyckerhoff wünschte die sämmtlichen aus dem Handel bezogenen Bindemittel, also auch den Traß, in der Feinheit, wie sie geliefert werden, zu den Prüfungen zu verwenden. Die Kommission wollte aber die größtmögliche chemische Wirkung des Trasses bezw. Feinsandes feststellen und entschied sich dafür, diese beiden Stoffe gleichmäßig zu feinen.

90 Tage und 1 Jahr alte Proben soll außerdem Rohsand aus der Grube der Freienwalder Chamottefabrik Henneberg & Co. verwendet werden[1]).

b) Prüfung der Mörtelstoffe.

Sämmtliche Bindemittel sind zu prüfen:

α) auf chemische Zusammensetzung;
β) auf specifisches Gewicht, Raumgewicht und Glühverlust;
γ) auf Raumbeständigkeit, Abbindezeit und Wärmeerhöhung beim Abbinden;
δ) auf Siebfeinheit.

Sämmtliche Zuschlagsmaterialien sind zu prüfen:

α) auf chemische Zusammensetzung;
β) auf mechanische Zusammensetzung (Beschaffenheit der Körner, abschlämmbare Bestandtheile);
γ) auf Siebfeinheit (Korngröße);
δ) auf Raumgewicht.

c) Mörtelmischungen[2]).

Es soll geprüft werden:

1. Jeder der drei Cemente mit Normalsand in der Mischung 1 : 2, 1 : 3 und 1 : 4 nach 7, 28 und 90 Tagen, nach 1 Jahr und an einem darüber hinaus liegenden noch vorbehaltenen Termin auf Zug- und Druckfestigkeit (x Jahre).
2. Zwei Cemente mit Freienwalder Rohsand in der Mischung 1 : 4 nach 7 Tagen, 90 Tagen und 1 Jahr.
3. Die Mischungen unter 1 bei demselben dort angegebenen Alter, doch sollen an Stelle der drei Cemente als Bindemittel die folgenden drei Mischungen von Cement und Traß treten:

   52 Gewichtstheile Cement A und 48 Gewichtstheile Traß
   55 „ „ B „ 45 „ „
   60 „ „ C „ 40 „ „

4. Die unter 3. angegebenen Mischungen bei demselben Alter, jedoch unter Ersatz des Trasses durch Feinsand in den Mörteln 1 : 2 und 1 : 4.
5. Die Mörtel 1 : 2 und 1 : 4 in zwei Altersklassen und unter Verwendung folgender Bindemittel-Mischungen:

   65 Gewichtstheile Cement A und 35 Gewichtstheile Traß
   67 „ „ B „ 33 „ „
   70 „ „ C „ 30 „ „

---

[1]) Herr Dyckerhoff hob hervor, daß der Normalsand, bei welchem die feineren Theile fehlen, poröse und dadurch für Erhärtung im Meere wenig geeignete Mörtel liefert und empfahl die Verwendung eines gemischtkörnigen Natursandes für alle Reihen. Da aber in erster Linie die chemische Wirkung des Seewassers auf die verschiedenen Mörtel beobachtet werden sollte, hielt die Kommission gerade die Verwendung weniger dichter Mörtel für erwünscht und fügte nur 2 Reihen Natursand-Mörtel zum Vergleich ein.

[2]) Die Auswahl der Mörtelmischungen erfolgte mit Rücksicht auf das Bestreben, die chemische Wirkung des Trasses auf den Cement im Mörtel festzustellen; deshalb ist der Traßzusatz dem Kalkgehalt der Cemente nach Michaelis Vorschlag angepaßt worden. Um möglichst die Grenzen der Einwirkung zu finden, sind absichtlich Mischungen mit zu hohem Traßzusatz hinzugefügt worden. Einige Reihen der Traßmischungen sind auch mit Feinsandzusatz wiederholt worden, um herauszufinden, wo etwa die chemische Wirkung aufhört und die mechanische (durch Füllung der Hohlräume) anfängt.

d) Herstellung und Aufbewahrung der Mörtelkörper.

Sämmtliche Mörtel sind nach Gewichtstheilen zu mischen (Vergl. die Anweisung unter 2. Zuschläge). Als Anmachewasser ist Süßwasser von 15 C° bis 18 C° Wärme zu verwenden. Für die Menge des Anmachewassers soll der nach 100 Schlägen beobachtete Wasseraustritt entscheidend sein. Die Mischung der Mörtel soll auf der Mischmaschine Steinbrück-Schmelzer vorgenommen werden. Die Wirkungsweise dieser Maschine ist vorher zu erproben.

Die Körper sind auf Böhmes Hammerapparat normenmäßig einzuschlagen und für jede Reihe 10 Körper zu fertigen.

Die Wärme des Erhärtungswassers im Laboratorium soll nicht unter 10 C° herabgehen.

Die Anfertigung der einzelnen Reihen ist nach Möglichkeit so vorzunehmen, daß nicht je ein Bindemittel in allen Mischungen hinter einander verarbeitet wird, sondern daß jede Mörtelmischung mit allen Bindemitteln hinter einander angefertigt wird[1]).

Alle Körper kommen 24 Stunden nach der Anfertigung entweder in Süßwasser oder in Seewasser, so daß die Hälfte aller Körper in Süßwasser, die andere Hälfte in Seewasser erhärtet. Die Seewasserproben werden nach 7 Tagen Alter der Nordsee bei Sylt an einer vor dem Wogenprall geschützten Stelle ausgesetzt[2]). Vor der Prüfung sind die Raumgewichte der je 10 zu einer Reihe gehörigen Körper durch gemeinsame Wägung festzustellen.

Zum Zwecke eventl. späterer chemischen oder auch mikroskopischen Prüfung sollen alle zerrissenen Zugkörper sowohl in Süß- wie in Seewasser aufbewahrt werden.

Die Versuche überwacht der Direktor der Königl. mech.-techn. Versuchsanstalt und der Vorsteher der Abtheilung für Baumaterialprüfung. Nach ihren Angaben werden die Arbeitsräume eingerichtet, die Protokolle angelegt und die Versuchsreihen vertheilt.

Die Ausführung der Vorversuche in der Versuchsanstalt erfolgt durch das Personal der Abtheilung für Baumaterialprüfung. Die chemischen Analysen werden in der Königlichen chemisch-technischen Versuchsanstalt ausgeführt. Die Probekörper in Westerland[3]) fertigt ein technischer Hilfsarbeiter der mech.-techn. Versuchsanstalt, dem die erforderlichen Gehilfen beizugeben sind.

Während der Dauer der Probenanfertigung übt in Vertretung der Versuchsanstalt und im Einvernehmen mit ihr der leitende Baubeamte in Westerland die Oberaufsicht aus. Der Schriftwechsel mit der Versuchsanstalt geht durch seine Hand.

Die Unterbringung der Probekörper im Meerwasser und ihre Entnahme von dort zur Prüfung erfolgt unter Aufsicht des leitenden Baubeamten.

Alle Probekörper bis zu 90 Tagen Alter sollen im Laboratorium in Westerland, die älteren Proben in der Versuchsanstalt geprüft werden. Bis zu 28 Tagen Alter prüft die

[1]) Hierdurch wird vermieden, daß etwa während der Zeit der Anfertigung der Probekörper auftretende Wärmeunterschiede u. s. w. das eine Bindemittel wesentlich stärker als das andere beeinflussen.

[2]) Veranlassung zu dieser Bestimmung war der Umstand, daß die Vorversuche zunächst nur die Ermittelung der chemischen Einflüsse des Seewassers bezweckten und die Erfahrung gelehrt hatte, daß die kleinen Versuchskörper namentlich in mageren Mischungen auf die Dauer dem Anprall der Wogen und der schleifenden Wirkung des Sandes nicht Stand hielten.

[3]) Die Ausführung der Versuche wurde dadurch wesentlich erleichtert, daß der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten die Mitwirkung der Königlichen Buhnen-Bauverwaltung in Westerland verfügte und der Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten die Benutzung und Erweiterung des in Westerland bereits vorhandenen, an das Dienstgebäude der Buhnenbauverwaltung sich anlehnenden Laboratoriums gestattete.

Proben in Westerland der technische Hilfsarbeiter der Versuchsanstalt. Die 90 Tage alten Proben werden unter specieller Aufsicht des leitenden Baubeamten in Westerland geprüft. Die älteren Proben sind 8 Tage vor dem Prüfungstermin unter Aufsicht des Baubeamten in feuchtem Sägemehl verpackt nebst den Prüfungsprotokollen an die Versuchsanstalt einzusenden und dort zu prüfen.

Die Versuchsanstalt berichtet allmonatlich über den Stand der Arbeiten.

Etwa erforderliche Besichtigungen der Arbeiten in der Versuchsanstalt und in Westerland erfolgen durch den Ausschuß auf dessen Beschluß.

Anmerkung:

Nach Festlegung des vorstehenden Arbeitsplanes wies der Vorstand des Vereines deutscher Portland-Cement-Fabrikanten auf den Vortrag des russischen Generalmajors Professor Schouliatschenko (S. 51—59 des Protokolls der Verhandlungen 1898) hin „über das Kalkhydroxyd im erhärteten Portland-Cement-Mörtel." Dieser Vortrag giebt Aufschlüsse über das Verhalten des Portland-Cementes im Seewasser und steht in direktem Widerspruch mit den Theorien von Dr. Michaelis über die schädlichen Wirkungen des freien Kalkhydrates im Portland-Cement. Der Herr Minister warf die Frage auf, ob es angemessen und ausführbar schiene, durch chemische Prüfungen einer Reihe der auf Sylt herzustellenden Probekörper zu untersuchen, in welcher Weise sich die Entwickelung von freiem Kalkhydrat und die Aufnahme von Kohlensäure in den Mörteln vollzieht. Die Leiter der Versuchsanstalten waren indessen übereinstimmend der Ansicht, daß das Studium der Bildung von freiem Kalkhydrat im Mörtel und des Erhärtungsvorganges im Mörtel zwar von sehr hohem Interesse, zugleich aber auch mit größeren Schwierigkeiten verknüpft ist, als aus der Darstellung des Professors Schouliatschenko hervorgeht. Ob die Versuche in absehbarer Zeit zu greifbaren Resultaten führen würden, erschien zweifelhaft. Vor allen Dingen schien es nothwendig, die Verfahren zur Feststellung der Veränderungen im Bindemittel genau zu studiren und bei den Versuchen alle solche Einflüsse auf die erhärtenden Mörtel, wie sie bei den Proben im Seewasser unvermeidlich sind, zunächst auszuschließen.

Aus diesen Gründen wurde von der Verbindung dieser im wissenschaftlichen Interesse wichtigen Untersuchungen mit den geplanten Seewasserversuchen abgesehen.

IV. Kosten.

Die Kosten der Versuchsausführung nach vorstehendem Arbeitsplane wurden wie folgt berechnet und bewilligt:

1.	Gebühren der Versuchsanstalt		6800	Mk.
2.	Reisekosten und Tagegelder		1374	„
3.	Neubeschaffung von Geräthen und Apparaten . . .	2400 Mk.		
	Hiervon ab der Erlös aus den gebrauchten Apparaten	850 „		
		1550 Mk.	1550	„
4.	Arbeitslohn		300	„
5.	Chemische Untersuchungen		300	„
6.	Bauliche Einrichtungen zur Unterbringung und Aufbewahrung der Probekörper im Seewasser, für Verpackung und Versendung derselben. Unvorhergesehenes		1676	„
	In Folge späterer Einführung eines vierten Cementes kommen hinzu		600	„
		Summe	12600	Mk.

Von diesen Kosten bewilligte der Herr Minister die Hälfte, und je 1/6 übernahm Herr Dr. Michaelis, der Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten[1]) und Herr Kommerzienrath Herfeldt Namens der vereinigten Traßgrubenbesitzer.

V. Beschaffung und Vorbereitung der Mörtelstoffe.

Portland-Cement A wurde durch einen Beamten der Versuchsanstalt in 12 Säcken einem am Kronprinzenufer in Berlin löschenden Dampfkahne einer Berliner Speditions-Firma entnommen, welcher 375 Säcke Portland-Cement aus Kreide der unteren Oder, auf nassem Wege hergestellt, geladen hatte;

Portland-Cement B wurde durch einen Beamten der Versuchsanstalt in 4 Fässern vom Lager eines Berliner Händlers aus einem Vorrath von 200 Fässern Cement, hergestellt aus schlesischem Kalkstein auf trockenem Wege, in Originalpackung der Fabrik ausgewählt und angekauft;

Portland-Cement C eines rheinischen Werkes, auf trockenem Wege hergestellt, wurde durch eine Bonner Bauunternehmer-Firma von einem größeren Bau in 12 Säcken angeliefert, nachdem bei verschiedenen Eisenbahn-Betriebs-Inspektionen vergeblich nach dem Cement gefragt worden war; ihre Vorräthe waren bereits verbraucht.

Die in der Königl. chem.-techn. Versuchsanstalt ausgeführten vorläufigen Analysen ergaben:

	A	B	C
Kalk	65,54%	63,06%	63,29%
Thonerde und Eisenoxyd .	6,24%	9,75%	12,34%

Die Grenzen liegen bei deutschen Portland-Cementen

für Kalk zwischen	58,2%	und	65,6%
für Thonerde + Eisenoxyd zwischen .	6,4%	„	13,9%

Cement A war also als kalkreich und thonerdearm anzusehen und genügte den Bedingungen, während die Cemente B und C den gestellten Anforderungen nicht voll entsprachen, außerdem einander chemisch sehr ähnlich waren.

Erfahrungsgemäß hält es schwer, einen normalen Portland-Cement im Handel zu finden, der reich an Thonerde und sehr arm an Kalk ist. Dennoch wurde der Versuch gemacht, auf dem Wege des Inserates einen solchen Cement zu beschaffen.

Eine ausländische Cementfabrik erklärte sich bereit, ihren natürlichen Portland-Cement von folgender Zusammensetzung zu liefern:

Sand	0,57
Kieselsäure . . .	21,30
Thonerde . . .	8,63
Eisenoxyd . . .	1,94
Kalkerde . . .	60,63
Magnesia . . .	1,85
Schwefelsäure . .	3,00
Glühverlust . .	1,81

Ein deutsches Portland-Cementwerk war bereit, einen Cement besonders anzufertigen, der etwa folgende Zusammensetzung haben sollte:

[1]) Die Vertreter der Cementindustrie hoben mehrfach hervor, daß die Versuche für sie nur theoretisches Interesse bieten.

Kalk	55 %
Magnesia	2,5 „
Kieselsäure	20,5 „
Eisen und Thonerde .	11,7 „

Wenn auch derartige Cemente keine gewöhnliche Handelswaare darstellen, so wäre es doch im wissenschaftlichen Interesse und für das Ergebniß der Versuche von Wichtigkeit gewesen, das in Frage stehende Verhalten der Cemente in den äußersten noch möglichen Grenzen ihrer verschiedenartigen Zusammensetzung kennen zu lernen. Indessen legten die der Kommission angehörenden Mitglieder des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten Verwahrung gegen die Verwendung nicht handelsüblicher Cemente ein und wünschten die Versuche auf Portland-Cemente des Handels beschränkt.

Da der Cement B inzwischen schnell bindend geworden war[1]), wurde beschlossen, diesen Cement von den Versuchen auszuschließen, dagegen den Cement C als kalkarmen und thonerdereichen Cement zu prüfen, obgleich er die Forderung der Kalkarmuth nicht erfüllt. Für den Cement B sollte ein um mindestens 1 % kalkreicherer, thonerdereicher Cement beschafft werden.

Die schlesische Fabrik, welche den Cement B geliefert, erklärte, einen solchen Handelscement liefern zu können und stellte im Juli 1898 vier Fässer davon zur Verfügung, die mit D bezeichnet den Versuchen an Stelle des Cements B unterworfen wurden,[2]) nachdem die Prüfung ergeben hatte, daß er den Anforderungen der Normen entsprach.

Die vorläufige chemische Prüfung des Cementes D ergab:

Kalk	64,70 %
Thonerde . . .	7,82 %

Der Cement unterschied sich also wesentlich von dem Cemente C und erfüllte wenigstens zum Theil die gestellten Bedingungen. Er ist kalkreich, hat aber nur mittleren Thonerdegehalt, statt thonerdereich zu sein.

Jeder Cement wurde nach Ankunft in seiner ganzen Masse in der Versuchsanstalt gut durchgemischt und in Büchsen aus Zinkblech von je etwa 25 l Inhalt eingelöthet. Traß ist auf Ersuchen der Königlichen Eisenbahnbau- und Betriebsinspektion XIV zu Berlin aus einer Lieferung einer Firma aus dem Nettethal durch die Bahnmeisterei zu Brandenburg a. H. zur Verfügung gestellt worden.

Das Traßmehl wurde durch Siebe von 900 Maschen auf 1 qcm geschickt und die verbleibenden Rückstände so weit gefeint, daß sie das 900-Maschensieb passirten. Dann wurde die ganze Menge sorgfältig durchgemischt, in Zinkbüchsen gepackt und verlöthet.

Feinsand wurde zunächst probeweise in 3 Mahlungen von der Krystall-Quarzsand-Grube „Mathilde" bei Hohenbocka Nied.-Lausitz (Th. G. Melde in Kottbus) bezogen, wo dieser Sand für Zwecke der Glas- und Porzellan-Fabrikation gemahlen wird.

---

[1]) Ein Theil der Körper war aus diesem Cement inzwischen bereits angefertigt.

[2]) Während der Verhandlungen über den Ersatz des Cementes B sind die Cement-Traßmischungen mit den Cementen A und C abwechselnd ausgeführt worden, wie im Arbeitsplan vorgesehen. Nach Anlieferung des Cementes D wurden zunächst alle Mischungen mit diesem Cement ausgeführt, bis die Reihen mit den Cementen A und C gleich standen.

Mit kleinen Mustern zur Probe vorgenommene Siebversuche ergaben folgendes:

Rückstände % auf den Sieben von	Maschen auf 1 qcm			
	600	900	2500	5000
Mahlung I	—	—	—	—
Mahlung II	—	—	2,5	7,4
Mahlung III	—	0,0	15,3	24,2

Hiernach genügte schon die Mahlung III den gestellten Anforderungen. Der Sand hinterließ auf dem 900-Maschinensieb keinen Rückstand. Vergleichende Versuche ergaben aber wesentliche Unterschiede in der Korngröße dieses Quarzmehles gegenüber dem Traß, so daß ein aus den Sorten I und III im Verhältniß 1:1 gemischtes Quarzmehl für die Versuche in Aussicht genommen wurde. Die Siebversuche mit diesem Gemisch und dem Traßmehl (vergl. auch S. 31) ergaben folgendes:

Zwischen den Sieben	Rückstand %	
	Traß	Gemischter Feinsand
$\frac{600}{900}$	0,3	0,0
$\frac{900}{2500}$	26,1	26,0
$\frac{2500}{5000}$	5,3	4,0
$\frac{5000}{10000}$	10,6	8,0
$\frac{10000}{-\infty}$	57,7	62,0

Diese Uebereinstimmung in der Feinheit des Trasses und des gemischten Quarzmehles befriedigte, so daß die Materialien wie geschildert zu den Proben Verwendung fanden.

Normalsand wurde wie üblich in Sackpackung vom Chemischen Laboratorium für Thonindustrie in Berlin bezogen, die ganze Menge ausgeschüttet, gut durchgemischt, aufs Neue verpackt und trocken gelagert.

Natursand wurde von der Firma Henneberg & Co. in Freienwalde aus den Rohsandgruben im Hammerthal, wo auch der Normalsand gefertigt wird, bezogen. Der Sand wurde ebenso gemischt und gelagert wie der Normalsand.

VI. Prüfungs-Einrichtungen.

Für die in der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg auszuführenden Versuche waren alle erforderlichen Einrichtungen vorhanden.

Für die Versuche in Westerland stand das Laboratorium des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten zur Verfügung, welches indessen für die Zwecke der in Aussicht genommenen Versuche wesentlich erweitert und theilweise neu ausgestattet werden mußte.

Zur Unterbringung der Proben in See waren Einrichtungen nicht mehr vorhanden, mußten also neu geschaffen werden.

Grundriß und Längenschnitt des Gebäudes der Königlichen Buhnenbau-Verwaltung, an welches vor einigen Jahren das Cement-Laboratorium angebaut worden ist, zeigen Fig. 2—5. Die Mauerschnitte sind schwarz angelegt.

Da von den vorhandenen Räumen keiner entbehrt werden konnte, auch befürchtet wurde, daß bei Anbringung von Regalen zur Wasserlagerung der zahlreichen Probekörper in den als „Dienstzimmer" und „Kommissionszimmer" bezeichneten Räumen zu viel Feuchtigkeit in das Gebäude gebracht werden würde, und ein weiterer Anbau an das Gebäude sich der Licht- und Luftverhältnisse halber verbot, blieb als einziger Ausweg, das Laboratorium zu unterkellern und die zur Süßwasserlagerung und für die erste Woche Seewasserlagerung bestimmten Körper in diesem Keller unterzubringen. Die hierdurch nothwendig gewordenen Umbauten sind im Grundriß und Längenschnitt schraffirt. Die Abbildungen zeigen auch die Anordnung der Regale

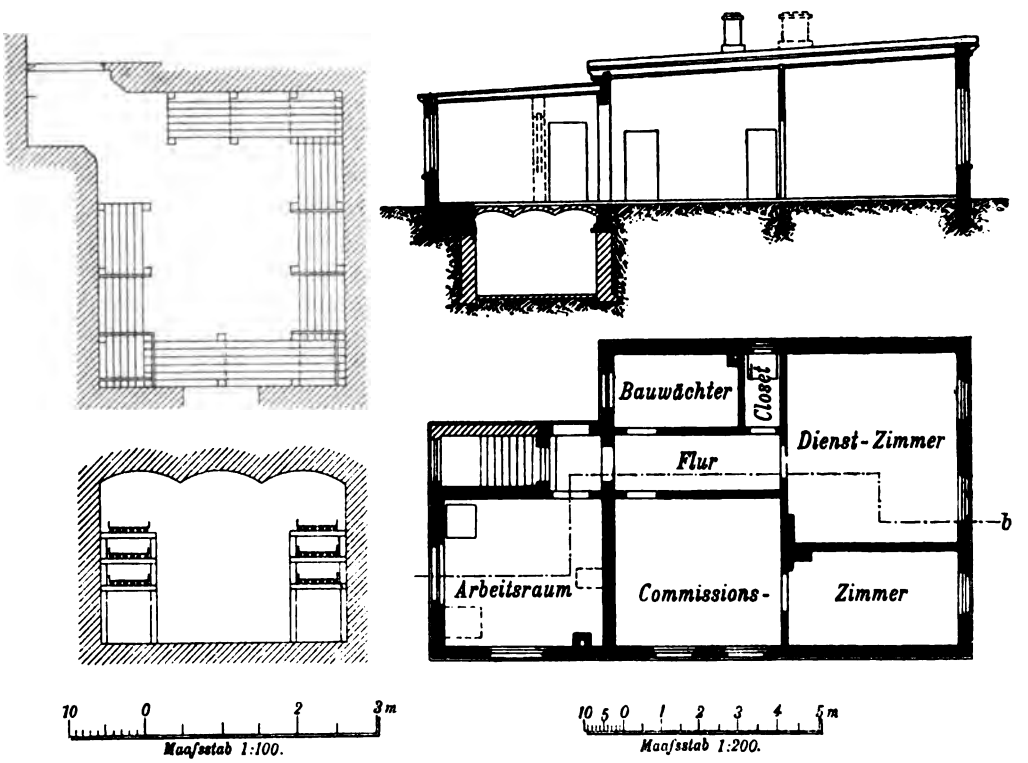


Fig. 2—5.

im Keller, auf welchen flache Zinkkästen in drei Reihen über einander in mittlerer Höhe des Raumes aufgestellt werden konnten. Die Einrichtung bot den Vortheil, daß die Erneuerung des Erhärtungswassers aus einer außerhalb des Gebäudes aufgestellten Tonne leicht zu bewerkstelligen war und die Versuchskörper vor Zugluft und starken Wärmeschwankungen geschützt blieben, da die Kellerdecke in Höhe des äußeren Terrains zu liegen kam, das kleine Kellerfenster fest eingemauert wurde und der Zugang zum Keller erst durch einen umschlossenen Treppenraum erfolgte.

Um die Wärme des Erhärtungswassers stets höher als 10 C° erhalten zu können, wurde in der Mitte des Kellerraumes ein eiserner Kanonenofen aufgestellt. Mit Hülfe eines Thermographen wurde die Kellerwärme in der mittleren Höhe des Raumes dauernd be-

obachtet, um den Einfluß etwa eintretender Wärmeschwankungen auf gewisse Reihen der Probekörper später feststellen zu können.

Die Aufzeichnungen des vorher sorgfältig geprüften und richtig gestellten Thermographen ergaben, daß die Kellerwärme vom 13. Juni 1898 an bis zum 31. Juli 1898, Tag und Nacht beobachtet, nur zwischen 13 C° und 16 C° schwankte, zumeist sich auf 15 C° hielt. Im August schwankte die Kellerwärme zwischen 16 und 20 C°. Nur am 21. und 22. August Mittags stieg die Wärme bis auf 22 C°, ging aber am 23. August wieder unter 20 C° zurück und sank bis zum 4. September allmählich wieder bis auf durchschnittlich 17 C°. Außerdem wurden arbeitstäglich Vormittags 10 Uhr und Nachmittags 5 Uhr Thermometerablesungen im Keller, im Laboratorium und im Freien gemacht und die Wärme des Anmachewassers der Proben, sowie die Feuchtigkeit der Luft im Keller und im Laboratorium gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen enthalten die Tabellen 1. Aus ihnen geht hervor, daß abgesehen von einigen heißen Tagen Mitte August während der Herstellung der Proben die Wärme im Laboratorium nur zwischen 16 und 19 C° schwankte und die relative Feuchtigkeit der Luft sich auf 80—90 % hielt.

In dem Laboratorium wurden auf gemauerten Fundamenten ein Mischapparat, Bauart Steinbrück-Schmelzer, und ein dreifacher Hammerapparat, Bauart Böhme, mit Einspannvorrichtung nach Martens neu aufgestellt. Von maschinellem Antrieb dieser Apparate, etwa durch einen Petroleummotor, wurde abgesehen, weil sich herausstellte, daß Handbetrieb billiger werden würde, da die erforderlichen Arbeitskräfte ohnehin vorhanden sein mußten. Eine hydraulische Presse nach Amsler-Laffon mit 32 t Kraftleistung und ein Zerreißapparat nach Frühling-Michaelis waren im Laboratorium bereits vorhanden.

Außerdem wurde das Laboratorium mit den erforderlichen Formen, Sieben, Vicatschen Nadeln, Thermometern, Hygrometern und sonstigen Geräthen ausgerüstet, so daß mit der Herstellung der Proben am 13. Juni 1898 begonnen werden konnte. Am 29. September 1898 war die Probenfertigung beendet.

Für den Transport der Proben nach dem etwa 4 km von dem Laboratorium entfernten Hafen Munkmarsch, wo laut Vereinbarung die Körper in See gebracht werden sollten, und von da zurück zum Laboratorium wurden besondere mit Zinkblech ausgeschlagene und zum Tragen an Stangen eingerichtete Holzkästen von ausreichendem Fassungsraum erbaut[1]), in denen die Körper in feuchtem Zustande, bezw. direkt im Seewasser liegend transportirt werden konnten.

Für den Transport der Proben von Munkmarsch nach Charlottenburg dienten gleichfalls besondere mit Zink ausgeschlagene Kisten, in denen die Seeproben zu Packeten zusammengesetzt zwischen Sägemehl lagernd verpackt wurden. Das Sägemehl wurde mit Seewasser — bei den Süßwasserproben mit Süßwasser — getränkt.

Um der gestellten Aufgabe gerecht zu werden, die Probekörper dem direkten Angriff der Wellen zu entziehen, sie dagegen der Einwirkung von Ebbe und Fluth auszusetzen, schien nach Besichtigung der Oertlichkeit die Unterbringung der Probekörper im Wattenmeere, und zwar unterhalb des Brückenkopfes am neuen Hafendamm bei Munkmarsch am besten geeignet.

Der Vorschlag, die Proben an einer geschützten Stelle des Weststrandes der Insel in Kästen zu versenken, welche an den Seiten mit Segelleinwand bekleidet sind, war wegen der häufig

[1]) Vom Bahntransport mußte wegen der zu befürchtenden, für die jungen Proben schädlichen Erschütterungen und der Unzuverlässigkeit regelmäßigen Transportes während des starken Verkehrs der Badesaison abgesehen werden

Tabelle 1. Ergebnisse der Wärmemessungen während der Anfertigung der Probekörper.

Tag	Stunde	Wärme im Keller	Wärme im Laboratorium	Wärme im Freien	Wärme des Anmachewassers	Feuchtigkeit der Luft im Keller	Feuchtigkeit der Luft im Laboratorium	Tag	Stunde	Wärme im Keller	Wärme im Laboratorium	Wärme im Freien	Wärme des Anmachewassers	Feuchtigkeit der Luft im Keller	Feuchtigkeit der Luft im Laboratorium
		C°.			C°.	%				C°.			C°.	%	
13. 6. 98	10 V.	13,8	16,5	13,8	17,8	92	93	9.7.98	10 V.	14,5	18,0	17,5	15,7	100	95
	5 N.	15,0	18,8	20,0		88	88		5 N.	14,5	19,0	16,5		99	92
14. 6. 98	10 V.	13,5	16,8	15,0	16,8	88	95	11.7.98	10 V.	14,5	18,5	16,5	16,3	97	90
	5 N.	14,0	18,0	18,0		88	83		5 N.	15,5	20,0	20,0		99	85
15. 6. 98	10 V.	14,5	17,2	17,0	17,2	95	98	12.7.98	10 V.	15,0	17,5	15,0	15,5	97	91
	5 N.	14,2	18,8	23,2		89	92		5 N.	15,0	20,5	20,5		99	83
16. 6. 98	10 V.	15,0	18,0	18,0	17,5	82	87	13.7.98	10 V.	14,5	17,5	15,0	15,3	98	92
	5 N.	13,5	18,0	15,5		88	92		5 N.	15,0	18,5	22,0		98	80
17. 6. 98	10 V.	14,5	16,3	16,0	16,5	82	85	14.7.98	10 V.	14,5	17,0	14,5	16,0	99	90
	5 N.	15,0	17,4	17,5		85	85		5 N.	14,0	17,5	19,0		99	77
18. 6. 98	10 V.	13,5	16,4	15,8	16,8	90	92	15.7.98	10 V.	14,5	17,0	15,0	15,2	97	89
	5 N.	15,0	18,0	18,4		87	84		5 N.	14,5	19,0	19,0		99	80
20. 6. 98	10 V.	14,5	16,3	16,0	16,5	93	87	16.7.98	10 V.	14,5	17,5	15,5	15,8	97	90
	5 N.	15,0	17,5	17,0		98	95		5 N.	15,0	17,0	21,5		99	76
21. 6. 98	10 V.	14,5	16,5	16,5	17,0	97	91	18.7.98	10 V.	14,5	16,0	15,0	16,3	99	94
	5 N.	14,5	18,5	16,0		97	89		5 N.	15,0	17,5	15,0		100	96
22. 6. 98	10 V.	14,5	17,0	14,5	15,8	96	97	19.7.98	10 V.	14,5	16,5	14,5	15,2	97	90
	5 N.	14,5	18,0	14,0		97	94		5 N.	14,1	20,0	17,0		95	87
23. 6. 98	10 V.	14,0	17,0	12,0	15,8	96	97	20.7.98	10 V.	14,5	16,0	15,5	15,5	96	87
	5 N.	14,5	18,0	16,0		83	97		5 N.	14,5	18,0	15,0		99	84
24. 6. 98	10 V.	14,5	15,5	14,5	17,0	97	94	21.7.98	10 V.	14,5	16,5	14,0	16,3	99	89
	5 N.	14,0	16,0	14,0		96	94		5 N.	14,5	18,0	17,5		97	84
25. 6. 98	10 V.	14,0	15,0	15,0	16,5	99	97	22.7.98	10 V.	15,0	17,0	17,0	17,2	100	90
	5 N.	14,0	17,0	25,0		99	92		5 N.	15,0	20,5	22,5		98	72
27. 6. 98	10 V.	14,5	18,0	15,0	17,5	99	97	23.7.98	10 V.	15,0	19,0	18,0	15,8	97	89
	5 N.	15,0	19,0	16,0		99	98		5 N.	15,0	19,5	16,5		98	86
28. 6. 98	10 V.	14,5	17,0	14,0	16,0	97	98	25.7.98	10 V.	14,5	16,0	13,0	16,2	96	84
	5 N.	14,5	16,5	12,0		99	96		5 N.	14,5	17,0	14,5		96	85
29. 6. 98	10 V.	14,0	14,5	13,0	15,5	98	95	26.7.98	10 V.	14,5	16,0	15,0	16,3	96	88
	5 N.	14,0	15,0	13,5		99	91		5 N.	14,5	17,0	16,5		96	77
30. 6. 98	10 V.	14,0	16,0	16,0	15,8	99	94	27.7.98	10 V.	14,0	16,5	15,0	16,5	96	90
	5 N.	14,0	19,5	21,0		99	89		5 N.	14,5	17,0	16,0		98	87
1. 7. 98	10 V.	14,0	17,5	15,0	16,2	97	94	28.7.98	10 V.	14,5	16,5	15,5	17,2	97	82
	5 N.	14,5	19,5	20,0		97	89		5 N.	14,5	19,0	22,5		99	75
2. 7. 98	10 V.	14,5	16,0	17,0	15,7	98	83	29.7.98	10 V.	15,0	18,0	19,5	17,5	98	85
	5 N.	14,5	18,5	22,0		99	83		5 N.	15,0	20,5	20,0		98	82
4. 7. 98	10 V.	14,0	16,0	15,5	16,5	99	87	30.7.98	10 V.	15,0	17,5	14,0	16,8	94	82
	5 N.	14,5	18,0	20,0		99	76		5 N.	14,5	18,5	18,0		94	72
5. 7. 98	10 V.	14,5	16,0	15,5	17,2	98	82	1.8.98	10 V.	14,5	17,5	15,5	17,5	98	89
	5 N.	14,5	18,5	18,5		99	79		5 N.	14,5	18,0	15,0		99	89
6. 7. 98	10 V.	14,0	16,5	16,0	16,5	98	81	2.8.98	10 V.	15,0	17,0	18,0	17,2	99	90
	5 N.	14,7	17,8	18,2		96	84		5 N.	15,0	20,5	21,0		99	88
7. 7. 98	10 V.	14,5	16,0	15,5	16,2	99	95	3.8.98	10 V.	15,0	18,5	18,0	18,0	99	92
	5 N.	14,5	19,0	18,0		99	89		5 N.	15,5	20,5	20,5		98	89
8. 7. 98	10 V.	14,5	16,0	17,0	15,7	99	95	4.8.98	10 V.	15,5	18,0	15,0	18,0	95	89
	5 N.	14,5	18,0	19,0		99	93		5 N.	15,5	20,0	23,5		97	79

Tag	Stunde	Wärme im Keller	Wärme im Laboratorium	Wärme im Freien	Wärme des Anmachewassers	Feuchtigkeit der Luft im Keller	Feuchtigkeit der Luft im Laboratorium
		C°.			C°.	%	
5. 8. 98	10 V.	15,5	17,5	16,5	17,2	97	85
	5 N.	15,5	18,5	16,0		98	87
6. 8. 98	10 V.	15,5	18,0	17,5	17,5	98	95
	5 N.	16,5	18,5	17,5		98	90
8. 8. 98	10 V.	15,0	17,0	15,5	17,3	96	88
	5 N.	15,0	18,5	17,5		96	86
9. 8. 98	10 V.	15,0	17,0	15,5	17,1	96	96
	5 N.	15,0	17,5	14,5		97	92
10. 8. 98	10 V.	14,5	16,5	15,0	16,8	96	88
	5 N.	15,0	18,5	21,0		96	80
11. 8. 98	10 V.	15,0	17,5	17,5	17,5	96	92
	5 N.	15,0	20,0	19,0		97	91
12. 8. 98	10 V.	15,5	18,5	19,5	16,8	97	93
	5 N.	15,5	20,5	23,0		97	91
13. 8. 98	10 V.	16,0	20,0	21,0	17,4	98	92
	5 N.	17,0	23,0	23,5		97	86
15. 8. 98	10 V.	17,5	22,5	23,5	17,0	96	79
	5 N.	18,5	24,5	26,5		95	76
16. 8. 98	10 V.	18,0	23,5	24,0	16,5	95	79
	5 N.	18,5	24,5	24,5		96	84
17. 8. 98	10 V.	18,0	22,0	18,0	17,3	95	87
	5 N.	18,0	22,0	18,0		95	85
18. 8. 98	10 V.	17,5	19,5	17,0	16,5	95	86
	5 N.	17,0	19,0	18,0		94	77
19. 8. 98	10 V.	16,5	18,0	18,0	17,2	90	81
	5 N.	17,0	20,5	20,0		88	63
20. 8. 98	10 V.	16,5	18,5	18,5	17,0	92	86
	5 N.	17,5	20,0	22,0		84	80
22. 8. 98	10 V.	17,5	20,5	20,5	16,8	87	76
	5 N.	18,0	19,5	20,5		90	66
23. 8. 98	10 V.	18,0	20,5	20,5	16,5	97	92
	5 N.	18,5	22,5	23,5		97	88
24. 8. 98	10 V.	17,5	19,5	17,0	17,3	95	94
	5 N.	17,5	19,5	17,5		84	83
25. 8. 98	10 V.	15,5	17,5	15,5	17,0	79	80
	5 N.	15,5	19,5	16,5		80	76
26. 8. 98	10 V.	15,5	17,5	17,0	17,5	93	80
	5 N.	15,0	18,5	17,0		85	74
27. 8. 98	10 V.	16,5	17,5	19,0	16,4	94	89
	5 N.	15,5	18,5	18,0		84	79
29. 8. 98	10 V.	15,5	16,5	15,0	16,0	87	83
	5 N.	15,0	19,5	16,5		85	84
30. 8. 98	10 V.	15,5	16,5	16,5	16,5	95	93
	5 N.	16,0	19,0	17,5		95	85
31. 8. 98	10 V.	15,5	17,5	15,5	17,5	93	91
	5 N.	15,5	18,0	15,0		96	87
1. 9. 98	10 V.	15,5	16,5	13,5	17,0	92	90
	5 N.	15,5	17,0	15,5		96	81
2. 9. 98	10 V.	15,0	16,5	15,5	16,8	92	90
	5 N.	15,0	17,0	16,5		96	83
3. 9. 98	10 V.	15,5	17,5	16,5	17,5	96	97
	5 N.	15,5	18,0	17,5		95	90
5. 9. 98	10 V.	16,0	19,0	17,0	16,5	95	94
	5 N.	16,0	20,0	17,0		95	84
6. 9. 98	10 V.	15,5	17,0	16,5	17,0	95	91
	5 N.	15,5	18,5	17,5		95	88
7. 9. 98	10 V.	15,5	17,5	15,5	16,3	96	94
	5 N.	15,5	18,0	17,0		95	93
8. 9. 98	10 V.	16,0	19,0	19,0	16,5	95	89
	5 N.	16,0	20,5	21,5		95	84
9. 9. 98	10 V.	16,5	20,0	20,5	17,0	95	91
	5 N.	16,5	22,0	22,0		96	89
10. 9. 98	10 V.	16,5	19,5	19,0	17,0	95	94
	5 N.	16,5	18,0	17,0		95	80
12. 9. 98	10 V.	16,5	18,0	16,5	16,5	95	94
	5 N.	16,5	19,0	17,5		95	73
13. 9. 98	10 V.	16,0	17,0	15,0	16,8	94	93
	5 N.	15,5	17,0	15,0		94	92
14. 9. 98	10 V.	15,5	16,5	16,5	16,5	96	96
	5 N.	16,0	17,5	18,0		96	96
15. 9. 98	10 V.	16,0	17,0	17,5	17,2	95	95
	5 N.	16,0	17,0	17,0		95	85
16. 9. 98	10 V.	16,0	17,0	17,5	16,8	96	80
	5 N.	16,0	18,5	19,5		95	86
17. 9. 98	10 V.	15,5	16,5	15,5	16,5	95	90
	5 N.	16,0	18,5	19,5		95	79
19. 9. 98	10 V.	16,0	18,0	15,0	16,5	94	91
	5 N.	16,0	19,5	16,5		93	78
20. 9. 98	10 V	16,0	17,5	16,5	17,0	95	94
	5 N.	16,0	18,5	16,5		95	94
21. 9. 98	10 V.	16,0	17,5	16,5	17,5	95	96
	5 N.	16,0	19,0	16,5		95	89
22. 9. 98	10 V.	15,5	17,0	15,0	16,8	94	93
	5 N.	15,0	17,0	14,5		95	84
23. 9. 98	10 V.	14,5	15,5	14,0	16,0	94	84
	5 N.	15,0	17,0	14,0		94	80
24. 9. 98	10 V.	14,0	15,0	12,5	15,5	94	86
	5 N.	14,5	17,5	13,5		95	83
26. 9. 98	10 V.	13,0	13,5	10,0	16,5	94	90
	5 N.	13,0	15,5	12,0		95	87
27. 9. 98	10 V.	13,0	14,0	12,0	15,8	95	82
	5 N.	13,0	17,5	13,5		95	82
28. 9. 98	10 V.	13,0	14,5	11,5	16,5	95	93
	5 N.	12,5	15,0	12,5		96	91

wechselnden Höhenverhältnisse des Vor-Strandes und des Strandes und der Schwierigkeit, die Proben zur richtigen Zeit für die Prüfung zu entnehmen, undurchführbar. Auch wäre das Segelleinen in Folge der ständigen und heftigen Sandreibung schnell verschlissen, also ein Schutzmittel von kurzer Dauer, und eine zeitweilige Erneuerung in Folge starken Seeganges bisweilen schwierig, wenn nicht unmöglich gewesen.

Ein anderer Vorschlag, diese Uebelstände durch ein massives Bauwerk in Art eines Brunnens, dessen Standort weit genug in See ist und dessen Schacht mit der Außensee in Verbindung steht, zu beseitigen, scheiterte an den voraussichtlich sehr hohen Kosten und der Schwierigkeit der Entnahme der Proben bei hohem Seegang.

Auch die frühere Art der Aufbewahrung in verzinkten Eisengitterkästen, die längs der Buhnen vor Westerland an den Buhnenpfählen mittelst Krampen befestigt waren, konnte keine Anwendung finden, da diese Kästen mit ihrem Inhalt in Folge von Eisschiebungen und Zerstörungen der Buhnen bei starkem Seegang theilweise verloren gegangen sind.

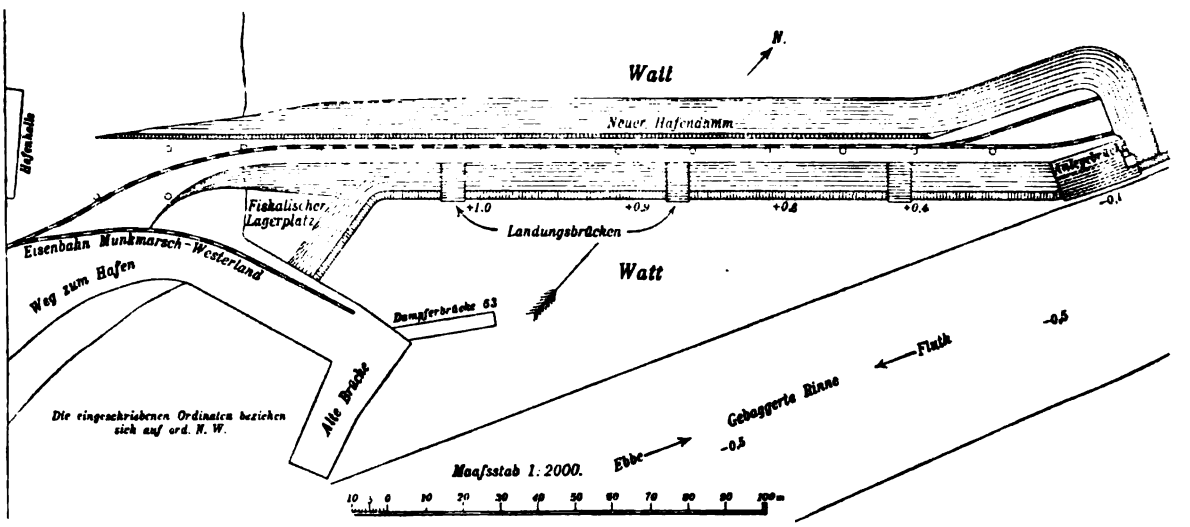


Fig. 6.

In Munkmarsch zeigt sich eine ständige Strömung, in der Fluth durch die über den Leitdamm des Hafens fallenden Wassermassen, in der Ebbe durch die hinter einer Lahnung aufgefangenen und nach hier abgeführten und zur Spülung des Hafens dienenden Wassermassen. Der Spülstrom steht hart an die Brücke heran, erhält also dort die Wassertiefe, sodaß auch die Befürchtung des vollständigen Verschlickens ausgeschlossen war. Für Beseitigung der etwa eintretenden geringen Ueberzüge von Schlick auf den Probekörpern konnte durch gelegentliche Benutzung der zum Speisen der Dampfkessel der Schiffe vorhandenen Saug- und Druckpumpe Sorge getragen werden.

Ein entsprechendes Bauwerk, dessen Situation Fig. 6 und 7 darstellt, wurde nach den Plänen des Herrn Regierungsbaumeisters Kratz ausgeführt. Die Einzelheiten der Konstruktion enthalten Fig. 8 bis 12.

Zwischen der ersten Reihe der Brückenständerpfähle und den Sturmpfählen sind längs derselben mit diesen zwei kräftige Balken in Verbindung gebracht (Fig. 7a b): die Balken haben einen lichten Abstand von 50 cm. Zur Erlangung größerer Steifigkeit und zur öfteren Unterstützung sind noch besondere Unterzüge angebracht, die mit den Ständerpfählen und den

Sturmpfählen einerseits und mit den Balken andererseits durch Spitzbolzen bezw. Schraubenbolzen verbunden sind.

Diese Unterzüge, sowie dazwischen sitzende, mit den Balken in Verbindung gebrachte Querhölzer dienen den Latten, auf welche die Probekörper-Packete gelegt werden, zur Befestigung. Durch Trennungsbretter, welche jedoch weder bis auf die Latten, noch bis zur Oberkante der Längsbalken reichen und welche in dreieckige Nuthen zwischen die Balken eingetrieben wurden (Fig. 8, 10 und 11), ist der ganze Raum in 100 Felder getheilt, von denen jedes eine Druck- und eine Zugfolge, also 20 Körper in einer später zu beschreibenden Verpackung aufnahm. Die Lage der einzelnen Fächer wurde durch Nummerirung der Pfähle und Herstellung einer Uebersichtsskizze, von der Fig. 8 einen Theil darstellt, festgelegt. Ueber die gefüllten Kästen wurden Deckbretter mit Nuth und Keilverschluß (Fig. 12) so befestigt, daß jedes Brett zwei Kästen je nicht ganz zur Hälfte überdeckt, so daß über jedem Kasten noch ein offener Schlitz dem Wasser den Durchtritt gestattet, ohne doch bei etwaiger Lösung der Packete die einzelnen Probekörper durchzulassen. (Vergl. Fig. 10, 11 und 12.)

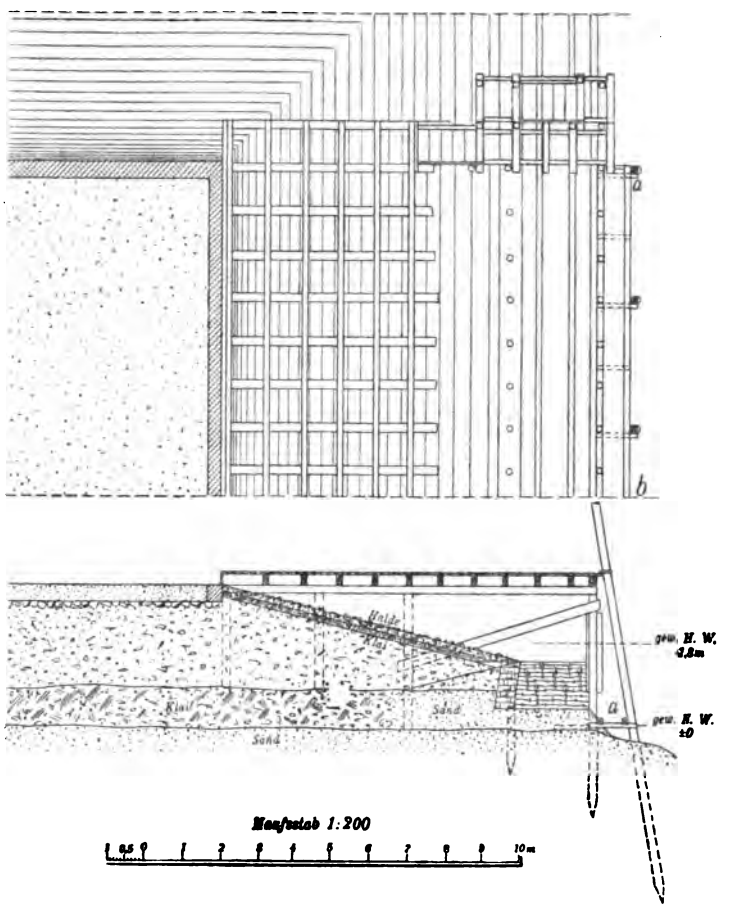


Fig. 7.

In den 100 Feldern ließen sich $100 \cdot 20 = 2000$ Probekörper gleichzeitig aufbewahren, was genügte, da nur 2240 Proben in See gebracht werden mußten, und mit dem Fortschritt in der Anfertigung der Proben schon in See aufbewahrte, früher gefertigte Körper zerrissen und zerdrückt wurden.

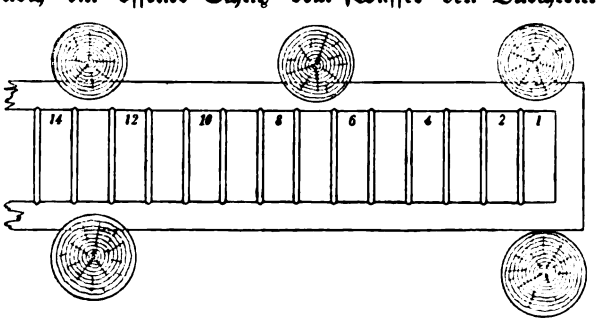


Fig. 8.

Sämmtliche Körper lagen auf diese Weise in einer Ebene unter dem Wasserspiegel des

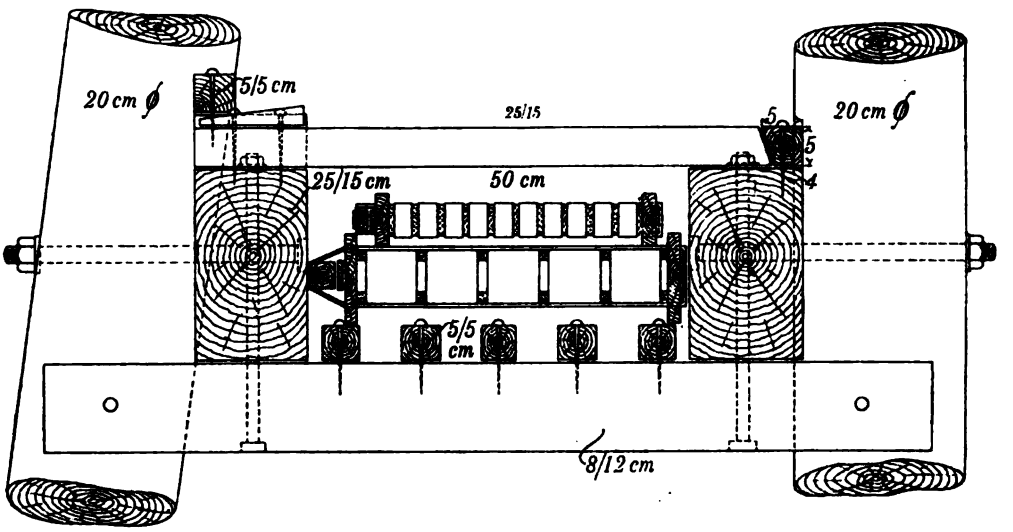


Fig. 9.

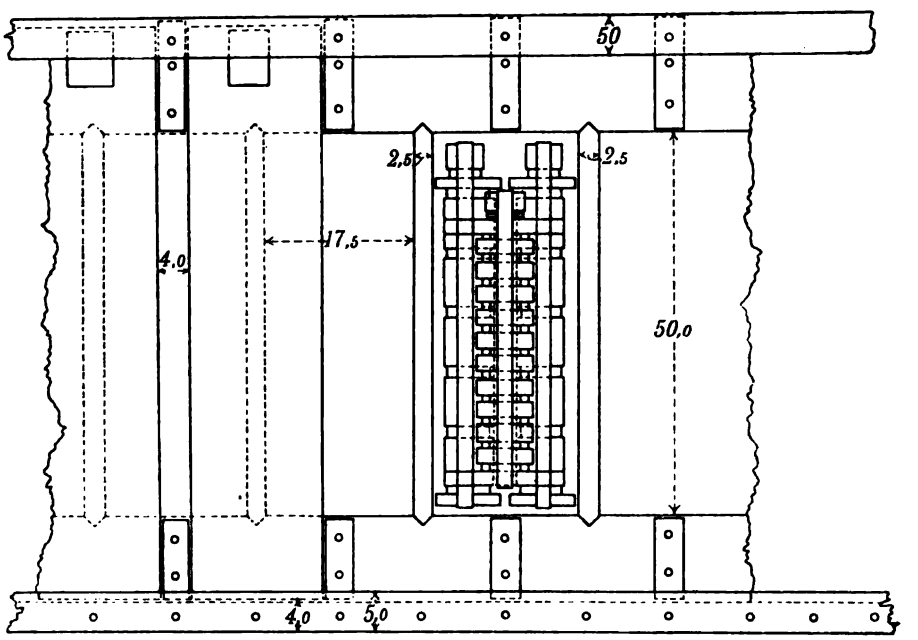


Fig. 10.

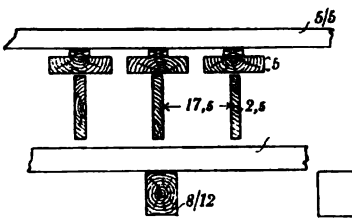


Fig. 11.

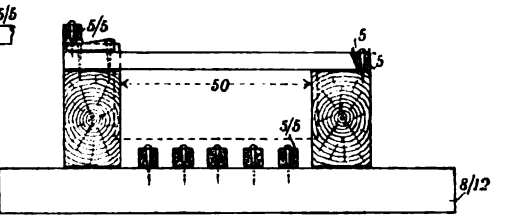


Fig. 12.

Mittelwassers, so daß sie nur zur Zeit des Niedrigwassers auf kurze Zeit aus dem Wasser auftauchten. Austrocknung während dieser Zeit war um so mehr ausgeschlossen, als die Packete mit Sackleinwand zugedeckt wurden[1]).

Besonders Bedacht mußte auf die Verbindung der einzelnen Probekörper zu Packeten genommen werden. Das mußte in der Weise geschehen, daß zwar die einzelnen Körper an freier Bewegung gehindert waren, also nicht zum Spiel der Wellen wurden, daß aber trotzdem das Wasser sie von allen Seiten umspülen konnte und daß sie sich leicht und fest in die Holzbehälter einbringen und eben so leicht wieder daraus entfernen ließen. Um dies zu erreichen sind nach Angabe von Herrn Professor Martens je 5 Druckkörper und je 10 Zugkörper von schmiedeeisernen, verzinkten Bügeln derartig umschlossen, wie Fig. 9 und 10 andeuten. Die Proben liegen zwischen zwei Holzbrettchen, an diesen und zwischen je 2 Körpern liegen je 2 Korkstreifchen, die ein festes Zusammenpressen der Körper gestatten, ohne doch die Körper zu beschädigen. Das Zusammenpressen geschieht durch Eintreiben von Holzkeilen unter den Kopf des Bügels, wodurch die Körper so fest mit dem Rahmen verbunden werden, daß auch heftige Stöße und gewaltsames Schütteln mit der Hand sie nicht zu lösen vermag. Fig. 9 und 10 zeigen auch, wie die Packete in die Fächer eingelegt wurden, je zwei Packete mit zusammen 10 Würfeln unten und 10 Zugproben in einem Packet darüber. Bedeckt wurden die Körper mit einem Stück Sackleinen, um den sich absetzenden Schlick nach Möglichkeit von den Körpern abzuhalten. Dennoch wurde schon nach wenigen Wochen festgestellt, daß sich nicht nur auf dem deckenden Sackleinen, sondern auch auf den Körpern selbst Schlick ablagerte, der nach Erforderniß durch Abspülungen mit Hülfe der Druckpumpe beseitigt wurde. Im Oktober 1898 hatte sich außerdem der Schlickboden des Watts an der Stelle des Seewasserbehälters bis zur Unterkante desselben aufgehöht und mußte durch Baggerung beseitigt werden, um den ungehinderten Durchtritt des Seewassers durch die Probenfächer zu ermöglichen.

Da sich die Einbringung der Proben in den Seewasserbehälter bei starkem Seegang nicht immer pünktlich an den vorgesehenen Terminen bewerkstelligen ließ und auch die zur Zeit des Niedrigwassers herausgenommenen Proben nicht immer sogleich nach Westerland gebracht werden konnten, wurde unterhalb des Brückenkopfes in Munkmarsch, höher an Land noch ein besonderer mit Zink ausgeschlagener und mit Seewasser gefüllt gehaltener Behälter gebaut, in welchem die Packete mit Probekörpern nach Bedarf einige Stunden oder Tage lagerten, bis sie in ihre Fächer oder nach Westerland gebracht werden konnten. Auf diese Weise wurde das Austrocknen der Proben verhütet.

Der Kasten wurde durch ein sicheres Schloß gegen unberufene Hände und durch schwere Holzriegel gegen starken Hochwasserandrang gesichert.

VII. Vorversuche.

Alle für die Verwendung im Laboratorium zu Westerland bestimmten Apparate wurden vorher in Charlottenburg geprüft und erprobt. Die Druckpresse ist schon früher mehrfach mit der Presse der Versuchsanstalt verglichen worden, und parallele Versuchsreihen lieferten

[1]) Die Körper gänzlich und bis zur Prüfung für immer unter Wasser zu bringen war wegen der Schwierigkeit der Beschickung der tief unter Wasser liegenden Kästen nicht zweckmäßig und auch nicht erwünscht, weil zu erwarten stand, daß die saugende Wirkung der Ebbe besser zur Geltung kommen würde, wenn das Wasser sich täglich zweimal völlig zwischen den Körpern zurückziehen und sie dann wieder von unten aus neu durchdringen konnte.

stets ausreichend übereinstimmende Ergebnisse. Die Hammerapparate ergaben sich nach sorgfältiger Prüfung als in allen wesentlichen Theilen mit den Apparaten der Versuchsanstalt übereinstimmend.

Für die Erprobung des Mörtelmischers waren die Erfahrungen maßgebend, die schon früher bei Einführung der Maschine gesammelt wurden und welche erwiesen, daß mit 20 Umgängen der Schüssel sich eine sehr innige Mischung des 1 + 3 Mörtels erzielen ließ und daß die aus den so gemischten Mörteln hergestellten Körper nahezu dieselben Festigkeiten lieferten, wie die gleichzeitig nach sorgfältiger Handmischung eingeschlagenen Körper. Es blieb nur noch zu erproben, ob sich das Mischverfahren auch auf die Cement-Traß-Mörtel mit demselben Erfolge anwenden ließ.

Zum Vergleiche des Mischverfahrens von Hand und mit der in Westerland aufzustellenden Mischmaschine hat die Versuchsanstalt deshalb Versuche mit 2 Mischungen ausgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 2 zusammengestellt sind.

Tabelle 2. **Wirkung des Mischverfahrens mit der Hand und mit der Maschine.**

Mischung in Gewichtstheilen	Handmischverfahren				Maschinenmischverfahren 20 Schüsselumdrehungen			
	Zugfestigkeit kg/qcm		Druckfestigkeit kg/qcm		Zugfestigkeit kg/qcm		Druckfestigkeit kg/qcm	
	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage
52 Cement + 48 Traß + 300 Normalsand	13,5	23,4	90,5	178,6	14,2	23,1	93,7	197,0
65 Cement + 35 Traß + 300 Normalsand	17,9	27,8	116,8	210,7	17,9	30,4	118,1	216,4
Mittl. Raumgew.	2,309		2,223		2,319		2,227	

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß 20 Schüsselumdrehungen eine Mischung erzeugen, die ähnliche, aber — namentlich in Bezug auf Druckfestigkeit — etwas höhere Werthe liefert, als das Handmischverfahren[1]).

Die Mischarbeit noch weiter zu treiben, schien nicht empfehlenswerth, da — wie weitere Versuche ergaben — der Mörtel hierdurch zu plastisch wird und sich nicht mehr normenmäßig einschlagen läßt.

Deshalb wurden 20 Schüsselumdrehungen für alle Mischungen beibehalten.

Die Prüfung auf allgemeine Eigenschaften der Mörtelstoffe und die normenmäßige Prüfung der Cemente wurde in der Versuchsanstalt ausgeführt. Alle Körper für die Prüfung der nachstehend in Tab. 3 zusammengestellten Mischungen wurden in Westerland angefertigt, nachdem vorher in der Versuchsanstalt für jede Mischung der erforderliche Wasserzusatz durch Versuche bestimmt worden war. Der Versuch, den Wasserzusatz aus dem Undichtigkeitsgrade des trockenen Mörtelgemenges zu berechnen, mißlang, wie aus Tab. 3 hervorgeht.

---

[1]) Vergl. Protokoll des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten 1897 S. 114, 1898 S. 118—126 und Mittheilungen aus den Kgl. technischen Versuchsanstalten 1898 S. 17—33. Weitere Versuche werden demnächst veröffentlicht.

Tabelle 3. Ermittelung des Wasserzusatzes für die Mörtelmischungen.

Mischung in Gew. Theil	Materialmenge für jede Mischung g	1 l des trockenen Mörtels wog kg eingelaufen	eingerüttelt	Spec. Gewicht s	Undichtigkeitsgrad u	Wasserzusatz in % der trockenen Mischung nach der Berechnung*)	nach dem Versuch	Wassermenge für jede Mischung ccm	Mörtelmenge für jeden Körper zu Zug g	Druck g	Reihe Nr.
Cement A.											
1 Cement + 2 Normalsand	750 1500	1,725	2,200	2,812	0,218	9,9	9,0	203	225	880	1
1 Cement + 3 Normalsand	550 1650	1,670	2,096	2,768	0,243	11,6	8,5	187	180	860	4
1 Cement + 4 Normalsand	500 2000	1,621	1,992	2,743	0,274	13,6	7,5	188	180	845	7
1 Cement + 4 Natursand	500 2000	1,728	2,158	2,773	0,222	10,3	7,0	175	180	845	10
52 Cement + 48 Traß + 200 Normalsand	390 360 1500	1,600	2,074	2,678	0,225	10,8	9,5	214	225	880	15
52 Cement + 48 Traß + 300 Normalsand	286 264 1650	1,607	2,030	2,618	0,225	11,1	9,0	198	225	880	18
52 Cement + 48 Traß + 400 Normalsand	260 240 2000	1,576	1,975	2,662	0,266	13,4	8,25	206	180	860	21
65 Cement + 35 Traß + 200 Normalsand	488 262 1500	1,640	2,104	2,713	0,225	10,7	9,25	208	225	880	24
65 Cement + 35 Traß + 400 Normalsand	325 175 2000	1,590	1,960	2,684	0,270	13,8	8,25	206	180	860	27
52 Cement + 48 Feinsand + 200 Normalsand	390 360 1500	1,699	2,192	2,731	0,198	9,0	8,5	191	225	880	30
52 Cement + 48 Feinsand + 400 Normalsand	260 240 2000	1,611	2,000	2,694	0,258	12,9	7,75	194	180	860	33
Cement B.											
1 Cement + 2 Normalsand	750 1500	1,725	2,192	2,790	0,214	9,75	9,5	214	225	880	2
1 Cement + 3 Normalsand	550 1650	1,656	2,080	2,752	0,244	11,73	9,0	198	180	860	5
1 Cement + 4 Normalsand	500 2000	1,610	1,988	2,730	0,272	13,68	8,0	200	180	845	8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Nicht ausgeführt. (s. folg. S.)
55 Cement + 45 Traß + 200 Normalsand	440 360 1600	1,617	2,072	2,673	0,225	10,86	10,0	240	225	880	

*) Zur Füllung der Hohlräume.

Mischung in Gew. Theil	Materialmenge für jede Mischung g	1 l des trockenen Mörtels wog kg eingelaufen	1 l des trockenen Mörtels wog kg eingerüttelt	Spec. Gewicht s	Undichtigkeitsgrad u	Wasserzusatz in % der trockenen Mischung nach der Berechnung *)	Wasserzusatz in % der trockenen Mischung nach dem Versuch	Wassermenge für jede Mischung ccm	Mörtelmenge für jeden Körper zu Zug g	Mörtelmenge für jeden Körper zu Druck g	Reihe Nr.
55 Cement + 45 Traß + 300 Normalsand	330 270 1800	1,600	2,030	2,665	0,238	11,72	9,5	228	225	880	Nicht ausgeführt, weil Cement B durch Cement D ersetzt wurde.
55 Cement + 45 Traß + 400 Normalsand	275 225 2000	1,576	1,965	2,660	0,261	13,28	8,5	213	180	860	
67 Cement + 33 Traß + 200 Normalsand	536 264 1600	1,648	2,104	2,704	0,222	10,55	10,0	240	225	880	
67 Cement + 33 Traß + 400 Normalsand	335 165 2000	1,590	1,970	2,679	0,265	13,45	9,0	225	180	860	
55 Cement + 45 Feinsand + 200 Normalsand	440 360 1600	1,676	2,174	2,724	0,202	9,25	8,5	204	225	880	
55 Cement + 45 Feinsand + 400 Normalsand	275 225 2000	1,602	2,000	2,690	0,256	12,8	7,75	194	180	860	
Cement C.											
1 Cement + 2 Normalsand	750 1500	1,742	2,215	2,806	0,218	9,70	9,75	219	225	880	3
1 Cement + 3 Normalsand	550 1650	1,668	2,100	2,763	0,240	11,43	9,25	204	180	860	6
1 Cement + 4 Normalsand	500 2000	1,620	2,012	2,740	0,266	13,22	8,25	206	180	845	9
1 Cement + 4 Natursand	500 2000	1,733	2,180	2,770	0,213	9,77	8,0	200	180	845	11
60 Cement + 40 Traß + 200 Normalsand	480 320 1600	1,640	2,104	2,696	0,220	10,45	10,0	240	225	880	17
60 Cement + 40 Traß + 300 Normalsand	360 240 1800	1,612	2,059	2,682	0,232	11,27	9,5	228	225	880	20
60 Cement + 40 Traß + 400 Normalsand	300 200 2000	1,577	1,980	2,674	0,259	13,08	8,5	213	180	860	23
70 Cement + 30 Traß + 200 Normalsand	560 240 1600	1,667	2,140	2,725	0,215	10,47	10,0	240	225	880	26
70 Cement + 30 Traß + 400 Normalsand	350 150 2000	1,592	1,994	2,690	0,260	13,04	9,0	216	180	860	29
60 Cement + 40 Feinsand + 200 Normalsand	480 320 1600	1,725	2,195	2,740	0,199	9,07	8,5	204	225	880	32
60 Cement + 40 Feinsand + 400 Normalsand	300 200 2000	1,609	1,990	2,700	0,263	13,22	7,75	194	180	860	35

*) Zur Füllung der Hohlräume.

Mischung in Gew. Theil	Materialmenge für jede Mischung g	1 l des trockenen Mörtels wog kg eingelaufen	eingerüttelt	Spec. Gewicht s	Undichtigkeitsgrad u	Wasserzusatz in % der trockenen Mischung nach der Berechnung*)	nach dem Versuch	Wassermenge für jede Mischung ccm	Mörtelmenge für jeden Körper zu Zug g	Druck g	Reihe Nr.
Cement D.											
1 Cement + 2 Normalsand	750 1500	Für Cement D nicht ermittelt					8,5	191	225	880	12
1 Cement + 3 Normalsand	550 1650	—	—	—	—	—	8,0	176	180	860	13
1 Cement + 4 Normalsand	500 2000	—	—	—	—	—	7,5	188	180	845	14
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55 Cement + 45 Traß + 200 Normalsand	440 360 1600	—	—	—	—	—	9,75	234	225	880	16
55 Cement + 45 Traß + 300 Normalsand	330 270 1800	—	—	—	—	—	9,0	216	225	880	19
55 Cement + 45 Traß + 400 Normalsand	275 225 2000	—	—	—	—	—	8,25	206	180	860	22
67 Cement + 33 Traß + 200 Normalsand	536 264 1600	—	—	—	—	—	9,5	228	225	880	25
67 Cement + 33 Traß + 400 Normalsand	335 165 2000	—	—	—	—	—	8,75	219	180	860	28
55 Cement + 45 Feinsand + 200 Normalsand	440 360 1600	—	—	—	—	—	7,75	186	225	880	31
55 Cement + 45 Feinsand + 400 Normalsand	275 225 2000	—	—	—	—	—	7,25	181	180	860	34

*) Zur Füllung der Hohlräume.

Der Mörtel brauchte in allen Mischungen, um Körper von normaler Feuchtigkeit zu liefern (d. h. solche, die nach etwa 100 Schlägen des Hammerapparates Wasser absonderten) weniger Wasser, als zur Füllung der Hohlräume des fest eingerüttelten trockenen Gemisches rechnungsmäßig nothwendig gewesen wäre.

Gesetzmäßige Beziehungen zwischen den in Procenten der trockenen Mischung ausgedrückten rechnungsmäßig bestimmten Hohlräumen des Mörtelgemisches und den versuchsmäßig gefundenen Wasserzusätzen ließen sich nicht erkennen. Es liegt dies zum Theil daran, daß das trockene Gemisch sich durch das Rütteln im Litergefäß wahrscheinlich nicht zum größten Dichtigkeitsgrad des Haufwerkes bringen läßt, was bei den mageren Mörteln in höherem Maße der Fall ist, als bei den fetten.[1])

[1]) Vergl. Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten 1897. S. 89.

In den Tab. 3 ist in der 2. Spalte die für jede Mischung berechnete Materialmenge in g angegeben, die so bemessen wurde, daß das Gemisch -- etwa 2,5 kg trocken — sich in der Mischmaschine gut und gleichmäßig bearbeiten ließ.

Auch sind die zur größeren Bequemlichkeit ausgerechneten Wassermengen für jede Mischung und die Mörtelmengen für jeden Körper angegeben, sodaß auch hierin ein gleichmäßiges Verfahren innegehalten und die Kontrole leicht möglich wurde.

Die Ziffern in der letzten Spalte der Tabellen 3 bedeuten die Reihenfolge, in der die Körper hergestellt wurden.

VIII. Arbeitsordnung.

Als Richtschnur für das Personal in Westerland dienten folgende

Allgemeine Vorschriften
für die Anfertigung und Aufbewahrung von Mörtelproben.

Alle Mischungen von Bindemittel und Sand werden nach Gewichtstheilen vorgenommen.

Bei allen Proben soll zunächst der Cement und der Zuschlag trocken innigst gemischt werden, worauf die Mischung des so hergestellten Bindemittels mit dem Sande und dann erst in der Mischmaschine die Zufügung des Wassers erfolgt.

Die trockene Mischung (jedesmal etwa 2,5 kg) ist in dem Mörtelmischer zu vertheilen, während der ersten Umdrehung ist das erforderliche Wasser zuzusetzen. Als Anmachewasser ist Süßwasser zu verwenden.

Die Wärme des Anmachewassers soll zwischen 15 und 18 C° liegen, die des Erhärtungswassers nicht unter 10 C° herabgehen.

Die Menge des Anmachewassers ist nach Angabe der Versuchsanstalt zu bemessen, welche für jede Mischung den erforderlichen Wasserzusatz vorher ermittelt hat. (Vergl. Tabelle 3.)

Das Mischen erfolgt einheitlich mit 20 Schüsselumdrehungen. Die Schüssel soll acht Umdrehungen in der Minute machen.

Wärme und Feuchtigkeit der Luft sollen während der Herstellung der Probekörper möglichst gleich bleiben.

Alle Körper sind mit 150 Schlägen des Hammerapparates zu rammen.

Für jede Versuchsreihe sind 10 Körper anzufertigen.

Die Anfertigung der einzelnen Reihen ist so vorzunehmen, daß nicht je ein Bindemittel in allen Mischungen hintereinander verarbeitet, sondern daß jede Mörtelmischung mit allen Bindemitteln hintereinander angefertigt wird.

Die in einem besonderen Verzeichniß angegebene Reihenfolge der Mischungen ist nach Möglichkeit inne zu halten.

Jeden Tag sind möglichst 30 Zug- und 30 Druckproben herzustellen. Hiervon sind abwechselnd je 10 Zug- bezw. Druckproben für Süß- bezw. Seewassererhärtung zu wählen. Die für Seewassererhärtung bestimmten Proben sind von den Süßwasserproben durch einen Punkt (·) zu unterscheiden. Im Uebrigen sind die in dem oben erwähnten Verzeichniß angegebenen Bezeichnungsweisen zu wählen[1]).

[1]) Die Bezeichnung der Probekörper wurde derartig gewählt, daß aus ihr die Zusammensetzung des Körpers erkennbar war.

Z. B. Körper aus 1 Cement A + 2 Normalsand = A_2
" " 1 " B + 3 " = B_3
" " 1 " C + 4 Rohsand = C_4R
" " 52 " A + 48 Traß + 200 Normalsand = A_2T
" " 55 " D + 45 " + 300 " = D_3T
" " 65 " A + 35 " + 200 " = A_2d
" " 52 " + 48 Feinsand + 200 " = A_2S
u. s. w.

Das Raumgewicht der Versuchskörper ist mindestens durch gemeinsame Wägung der je 10 zusammengehörigen Versuchskörper nach 7 Tagen und 1 Jahr zu ermitteln. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Proben äußerlich unverändert bleiben. Sollte dies nicht der Fall sein, so sind die sich äußerlich zeigenden Beschädigungen für jede Reihe sorgfältig zu protokolliren.

Die Probekörper sind 24 Stunden in feuchter Luft zu lagern; die Druckkörper sollen während dieser Zeit in der Form bleiben. Die Zugkörper werden etwa 20 Minuten nach dem Einschlagen entformt.

Alle Probekörper kommen nach 24 Stunden 6 Tage lang in Süß- bezw. Seewasser im Laboratorium. Die Wärme der Herstellungs- und Aufbewahrungsräume ist täglich zweimal zu messen. (Vergl. Tabelle 1.) Nach 7 Tagen kommen die Körper, welche im Seewasser erhärten sollen, nach Munkmarsch. Für den Transport und die Unterbringung der Proben werden besondere Bestimmungen getroffen.

Alle Probekörper bis zu 90 Tagen sind im Laboratorium zu Westerland, die Jahresproben und die älteren Proben in der Versuchsanstalt zu prüfen. Letztere sind 8 Tage vor dem Prüfungstermin unter Aufsicht des bauleitenden Beamten in feuchtem Sägemehl verpackt nebst den Prüfungsprotokollen an die Versuchsanstalt einzusenden.

Alle zerrissenen Zugproben sollen aufbewahrt werden.

Von jedem Cement ist zunächst sofort nach dem Oeffnen der Büchse und später alle 14 Tage die Bindezeit zu bestimmen.

IX. Ergebnisse der Versuche.

A. Eigenschaften der Mörtelstoffe.

1. Cemente.

Chemische Zusammensetzung.

Auf den wasser- und kohlensäurefreien Zustand berechnet enthalten die Portland-Cemente

	A	B	C	D
In Salzsäure unlösliche Bestandtheile	0,84	0,60	0,91	0,57
Kieselsäure	22,66	21,76	20,32	21,09
Thonerde	**4,24**	**7,55**	**8,52**	**7,82**
Eisenoxyd	2,03	2,29	3,18	2,30
Kalk	**65,98**	**63,69**	**62,17**	**64,70**
Magnesia	1,23	1,07	1,95	
Alkalien	1,38	1,31	1,52	
Schwefelsäure	1,48	1,54	1,26	
Phosphorsäure	0,18	0,17	0,17	
Schwefelcalcium	Spuren	Spuren	—	

Tabelle 4. **Raumgewichte, specifisches Gewicht, Dichtigkeitsgrad, Glühverlust.**

Portland-Cement	Gewicht eines Liters		Spec. *) Gewicht	Dichtigkeitsgrad $d = \frac{R_r}{s}$	Undichtigkeitsgrad $u = 1 - d$	Glühverlust
	eingelaufen R_f	eingerüttelt R_r	s			%
A	1,226	1,936	3,195	0,606	0,394	1,76
B	1,252	2,006	3,195	0,628	0,372	1,69
C	1,255	2,005	3,194	0,622	0,378	3,25
D	1,264	2,004	3,192	0,628	0,372	1,15

*) Auf dem Gebläse geglüht.

Raumbeständigkeit.

Der Cemente	Normenprobe	Kochprobe	Darrprobe	Glühprobe
A	bestanden	starke Warzen	Warzen	bestanden
B	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden
C	bestanden *)	netzrissig, Warzen	Warzen	bestanden
D	bestanden	bestanden	einzelne Warzen	bestanden

*) Zahlreiche Warzen.

Tabelle 5. Abbindezeit.

Tag der Prüfung	Wasserzusatz %	Feuchtigkeit der Luft %	Wärme der Luft C°	Wärme des Wassers C°	Wärme des Cements C°	Wärmeerhöhung C°	Erhärtungsanfang Std.	Erhärtungsanfang Min.	Abbindezeit Std.	Abbindezeit Min.	Bemerkungen.
Cement A.											
5. 4. 98	26,2	70	18,5	16,5	—	1,8	4	—	8	–	Durchschnittsprobe n. Oeffnen d. Fässer
13. 6. 98	26,2	88	17,4	18,0	15,2	1,5	4	—	8	—	Büchse geöffnet am 13. 6. 98.
27. 6. 98	26,2	93	17,2	17,5	17,0	1,5	4	—	8	—	Büchse geöffnet am 15. 6. 98.
15. 7. 98	26,2	89	16,3	16,5	16,5	1,8	4	—	8	—	
1. 8. 98	26,2	85	16,0	15,7	16,2	2,0	4	15	8	15	Büchse geöffnet am 26. 7. 98.
20. 8. 98	26,2	83	20,4	17,5	17,2	3,0	2	30	7	15	Büchse geöffnet am 9. 8. 98.
1. 9. 98	26,2	85	16,5	16,5	16,5	2,0	3	45	7	45	Büchse geöffnet am 29. 8. 98.
Cement B.											
7. 4. 98	27,8	58	19,0	16,5	—	1,5	—	30	1	20	Durchschnittsprobe n. Oeffnen d. Fässer
21. 4. 98	27,8	77	16,5	16,3	16,5	13,5	—	—	—	15	Der Cement hatte 14 Tage offen an der Luft gestanden.
5. 5. 98	27,8	85	17,2	17,3	19,0	11,3	—	10	—	15	
20. 6. 98	27,8	84	18,3	17,2	18,3	8,3	—	8	—	18	Büchse geöffnet am 20. 6. 98.
7. 7. 98	27,8	88	17,2	16,5	17,0	8,5	—	10	—	15	Büchse geöffnet am 4. 7. 98.
Cement C.											
22. 4. 98	27,5	74	16,5	16,5	16,8	12,1	—	1	—	10	Durchschnittsprobe n. Oeffnen d. Fässer
21. 5. 98	27,5	92	18,0	17,8	17,8	11,8	—	3	—	10	
16. 6. 98	27,5	88	17,5	16,5	17,8	7,5	—	2	—	15	Büchse geöffnet am 16. 6. 98.
1. 7. 98	27,5	86	18,5	17,5	18,0	7,0	—	2	—	7	Büchse geöffnet am 25. 6. 98.
20. 7. 98	27,5	91	17,5	16,5	17,5	6,8	—	2	—	12	Büchse geöffnet am 20. 7. 98.
6. 8. 98	27,5	95	18,3	16,0	17,3	5,8	—	2	—	10	Büchse geöffnet am 3. 8. 98.
20. 8. 98	27,5	86	18,5	17,0	17,6	6,0	—	2	—	10	Büchse geöffnet am 13. 8. 98.
Cement D.											
24. 8. 98	28,0	90	21,5	21	21,5	1,5	4	30	7	30	Durchschnittsprobe n. Oeffnen d. Fässer
6. 9. 98	27,0	93	17,8	17,2	17,5	2,2	2	30	8	30	Büchse geöffnet am 6. 9. 98.
20. 9. 98	27,0	94	17,7	17,5	17,5	2,4	2	30	8	30	Büchse geöffnet am 16. 9. 98.

Tabelle 6. **Siebfeinheit.**

Portland-Cement	Siebrückstände							
	Siebe mit Maschen für 1 qcm		240	324	600	900	5000	
A.	Gesammt-Rückstand auf den Sieben; Procent			0,0	0,2	1,5	20	
	Rückstand zwischen je 2 Sieben; Procent .			0,2	1,3	18,5	80	
B.	Gesammt-Rückstand auf den Sieben; Procent				0,0	0,6	20	
	Rückstand zwischen je 2 Sieben; Procent .				0,6	19,4	80	
C.	Gesammt-Rückstand auf den Sieben; Procent				0,0	0,2	16	
	Rückstand zwischen je 2 Sieben; Procent .				0,2	15,8	84	
D.	Gesammt-Rückstand auf den Sieben; Procent			0,0	0,2	1,1	23	
	Rückstand zwischen je 2 Sieben; Procent .		0,0	0,2	0,9	21,9	77	

Tabelle 7. **Raumgewichte der Normenproben und Normenfestigkeit.**

Marke	Mischung in Gewichtstheilen	1 Cement + 3 Normalsand					
		7 Tage alt			28 Tage alt		
A.	Wasserzusatz	9¼%			9¼%		
	Mittl. Raumgew. 24 Std. nach dem Einschlagen	für Zugprobekörper: 2,289; Druckprobekörper: 2,223			für Zugprobekörper: 2,289; Druckprobekörper: 2,223		
	Festigkeit kg/qcm	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$
	höchste	23,1	181	—	28,9	258	—
	kleinste	18,0	170	—	24,7	239	—
	Mittel aus 10 Versuchen	**20,0**	**176**	$\frac{1}{8,8}$	**27,3**	**248**	$\frac{1}{9,1}$
B.	Wasserzusatz	9¼%			9¼%		
	Mittl. Raumgew. 24 Std. nach dem Einschlagen	für Zugprobekörper: 2,289; Druckprobekörper: 2,217			für Zugprobekörper: 2,289; Druckprobekörper: 2,217		
	Festigkeit kg/qcm	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$
	höchste	20,6	126	—	25,3	186	—
	kleinste	13,7	109	—	21,3	178	—
	Mittel aus 10 Versuchen	**17,6**	**118**	$\frac{1}{6,7}$	**23,6**	**181**	$\frac{1}{7,7}$

Marke	Mischung in Gewichtstheilen	1 Cement + 3 Normalsand					
		7 Tage alt			28 Tage alt		
C.	Wasserzusatz	10 %			10 %		
	Mittl. Raumgew. 24 Std. nach dem Einschlagen	für Zugprobekörper: 2,303; Druckprobekörper: 2,220			für Zugprobekörper: 2,303; Druckprobekörper: 2,220		
	Festigkeit kg/qcm	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$
	höchste	19,2	141	—	25,7	211	—
	kleinste	11,3	128	—	19,0	193	—
	Mittel aus 10 Versuchen	**15,6**	**134**	$\frac{1}{8,6}$	**21,6**	**201**	$\frac{1}{9,3}$
D.	Wasserzusatz	9 %			9 %		
	Mittl. Raumgew. 24 Std. nach dem Einschlagen	für Zugprobekörper: 2,274; Druckprobekörper: 2,206			für Zugprobekörper: 2,274; Druckprobekörper: 2,206		
	Festigkeit kg/qcm	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$	Zug	Druck	$\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$
	höchste	23,3	145	—	25,2	218	—
	kleinste	17,3	124	—	22,0	188	—
	Mittel aus 10 Versuchen	**20,4**	**138**	$\frac{1}{6,8}$	**23,7**	**204**	$\frac{1}{8,6}$

Nach den vorstehend wiedergegebenen Eigenschaften kennzeichnen sich die Cemente als normale Handelscemente von guten Festigkeitseigenschaften und von feiner Mahlung. Der Umstand, daß die Cemente (mit Ausnahme des später ausgeschiedenen Cementes B) die sogenannten beschleunigten Raumbeständigkeitsproben nicht alle bestanden haben, ist nicht von Belang, da nach den bisher gemachten Erfahrungen die beobachteten Erscheinungen keinen Hinderungsgrund für die praktische Verwendung derartiger Cemente zu Bauzwecken bilden.

Auf welche Ursachen die besonders starke Neigung zur Warzenbildung bei dem Cemente C zurückzuführen ist, wurde nicht festgestellt.

In wie weit die Cemente A, C und D in ihren chemischen Eigenschaften den im Arbeitsplan gestellten Anforderungen genügen, ist bereits weiter vorn (S. 11 und 12) erörtert worden.

2. Zuschlagsstoffe.

Chemische Zusammensetzung des Trasses.[1])

a) Bauschanalyse.

Kieselsäure	54,85 %	Natron	4,85 %
Titansäure	0,49 „	Schwefelsäure	0,13 „
Thonerde	16,83 „	Phosphorsäure	0,11 „
Eisenoxyd	3,24 „	Wasser, hygroskopisches bei 100 C° entweichend	4,11 „
Eisenoxydul	0,98 „	Wasser, chemisch gebundenes über 100 C° entweichend	6,32 „
Kalk	2,21 „		
Magnesia	1,50 „		
Kali	4,59 „		

[1]) Die chemische Analyse des Trasses wurde in der chemisch-technischen Versuchsanstalt ausgeführt.

b) **Behandlung mit Salzsäure.**

In Salzsäure Unlösliches	setzt sich ab aus Wasser von einer senkrechten Geschwindigkeit von 2 mm (Sand)	16,0 %
	setzt sich nicht aus Wasser von einer senkrechten Geschwindigkeit von 2 mm (Thon und Staubsand)	42,32 „
In Salzsäure Lösliches	Kieselsäure	6,44 „
	Thonerde	11,79 „
	Eisenoxyd	2,99 „
	Eisenoxydul	0,53 „
	Manganoxydul	0,12 „
	Kalk	1,19 „
	Magnesia	0,37 „
	Kali	3,20 „
	Natron	4,49 „
	Schwefelsäure	0,07 „
	Phosphorsäure	0,11 „
	Kohlensäure	0,18 „
	Wasser, hygroskopisches, unter 120 C° entweichend	3,64 „
	Wasser, chemisch gebundenes, über 120 C° entweichend	6,58 „

Die Bestimmung des Wassergehaltes des Trasses (Trocknung bei 100 C°) in der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt ergab folgende etwas abweichende Werthe:

Hygroskopisches Wasser	2,49
Hydratwasser . . .	8,47
Glühverlust	10,74

bestimmt an Durchschnittsproben im Mittel aus je 2 Versuchen.

Tabelle 8. **Siebfeinheit von Traß und Feinsand.**

Zwischen den Sieben von	Traß			Quarzsand III gröbere Mahlung			Quarzsand I feinere Mahlung			Quarzsand-Gemisch $\frac{III+I}{2}$		
	Versuch 1	Versuch 2	Mittel	Versuch 1	Versuch 2	Mittel	Versuch 1	Versuch 2	Mittel	Versuch 1	Versuch 2	Mittel
$\frac{600}{900}$	0,2	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\frac{900}{2500}$	26,2	26,0	26,1	52,0	53,0	52,5	2,0	3,6	2,8	26,0	26,0	26,0
$\frac{2500}{5000}$	5,2	5,4	5,3	8,0	7,0	7,5	1,6	1,2	1,4	4,0	4,0	4,0
$\frac{5000}{10000}$	10,4	10,8	10,6	10,0	11,0	10,5	8,4	10,2	9,3	8,0	8,0	8,0
$\frac{10000}{-\infty}$	58,0	57,4	57,7	30,0	29,0	29,5	88,0	85,0	86,5	62,0	62,0	62,0

Tabelle 9. **Raumgewichte.**

	Gewicht eines Liters		Spec. Gewicht	Dichtigkeitsgrad	Undichtigkeitsgrad
	eingelaufen R_f	eingerüttelt R_r	s	$d = \frac{R_r}{s}$	$u = 1 - d$
Traß . . .	0,843	1,376	2,334	0,590	0,410
Feinsand . .	1,101	1,833	2,649	0,692	0,308

3. Sande.

Chemische Zusammensetzung.

	Feinsand	Normalsand	Rohsand
Rückstand nach der Behandlung mit Fluorwasserstoffsäure und Schwefelsäure	0,24 %	0,44 %	2,7 %

Die Rückstände bestehen zu etwa $^3/_4$ Theilen aus Thonerde mit etwas Eisenoxyd, der Rest aus schwefelsauren Alkalien und alkalischen Erden, herrührend von Glimmer, Feldspath und Augit.

Mechanische Zusammensetzung.

Der Normalsand ist ein reiner Quarzsand mit etwa 0,06 % abschlämmbaren Bestandtheilen und sehr geringen organischen Beimengungen.

Der Rohsand ist im wesentlichen reiner scharfer Quarzsand mit geringen Beimengungen von Braunkohle, Thon und Eisenoxyd und durchsetzt von schluffigen Adern. Er wurde so verwendet, wie er aus der Grube kam.

Tabelle 10. **Siebfeinheit.**

Sand	Siebrückstände									
	Siebe mit Maschen für 1 qcm	4	9	20	60	81	120	240	600	900
Normalsand	Gesammt-Rückstand auf den Sieben; %			—	0,0	24,5	82,0	99,7	—	—
	Rückstand zwischen je 2 Sieben; % .			—	24,5	57,5	17,7	0,3	—	
Rohsand	Gesammt-Rückstand auf den Sieben; %	0,0	1	5	19	31	44	67	77	86
	Rückstand zwischen je 2 Sieben; % .	1	4	14	12	13	23	10	9	14

Tabelle 11. **Raumgewichte.**

Sand	Gewicht eines Liters		Spec. Gewicht	Dichtigkeitsgrad	Undichtigkeitsgrad
	eingelaufen R_f	eingerüttelt R_r	s	$d = \frac{R_r}{s}$	$u = 1 - d$
Normalsand .	1,405	1,680	2,673	0,629	0,371
Rohsand . . .	1,613	1,906	2,655	0,718	0,282

B. Eigenschaften der Mörtelkörper.

Tabelle 12.

a) Raumgewichte der aus dem Cemente B hergestellten Probekörper.

Erhärtungsart	Mittleres Raumgewicht (aus je 10 Körpern) der Zugproben nach					der Druckproben nach				
	24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand										
Süßwasser	—	2,551	—	2,551	2,551	—	2,355	—	2,369	2,370
Seewasser	—	*2,536*	—	*2,560*	*2,565*	—	*2,355*	—	*2,377*	*2,389*
1 Cement + 3 Normalsand										
Süßwasser	—	2,405	2,405	2,434	2,420	—	2,248	2,262	2,270	2,213
Seewasser	—	*2,405*	*2,420*	*2,449*	*2,449*	—	*2,251*	*2,273*	*2,290*	*2,304*
1 Cement + 4 Normalsand										
Süßwasser	—	2,303	2,303	2,318	2,318	—	2,169	2,166	2,180	2,166
Seewasser	—	*2,303*	*2,303*	*2,318*	*2,318*	—	*2,169*	*2,177*	*2,197*	*2,203*

Tabelle 13.

b) Festigkeiten der aus dem Cemente B hergestellten Probekörper.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit kg/qcm nach				Druckfestigkeit kg/qcm nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	28,7	38,0	46,2	50,1	189	266	379	458
Seewasser	*30,4*	*31,9*	*30,7*	*32,5*	*196*	*283*	*369*	*393*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	17,7	23,8	33,2	37,4	110	181	256	305
Seewasser	*19,7*	*24,6*	*29,7*	*29,4*	*118*	*175*	*234*	*258*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	14,3	17,3	23,1	24,6	86	126	192	228
Seewasser	*13,2*	*17,6*	*20,7*	*22,5*	*86*	*123*	*169*	*171*

Tabelle 14. Raumgewichte der aus den Cementen A, D und C hergestellten Probekörper.

Cement A.

Erhärtungsart	Mittleres Raumgewicht (aus je 10 Körpern) der Zugproben nach					der Druckproben nach				
	24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand										
Süßwasser	—	2,551	—	2,566	2,551	—	2,349	—	2,375	2,377
Seewasser	—	*2,536*	—	*2,580*	*2,566*	—	*2,346*	—	*2,386*	*2,408*
1 Cement + 3 Normalsand										
Süßwasser	—	2,405	2,391	2,420	2,405	—	2,254	2,262	2,270	2,279
Seewasser	—	*2,405*	*2,420*	*2,449*	*2,449*	—	*2,254*	*2,270*	*2,296*	*2,310*
1 Cement + 4 Normalsand										
Süßwasser	—	2,274	2,274	2,303	2,303	—	2,155	2,172	2,180	2,180
Seewasser	—	*2,274*	*2,303*	*2,332*	*2,318*	—	*2,163*	*2,189*	*2,200*	*2,192*
1 Cement + 4 Rohsand										
Süßwasser	—	2,434	2,449	2,449	2,362	—	2,287	2,296	2,299	2,304
Seewasser	—	*2,434*	*2,464*	*2,493*	*2,464*	—	*2,290*	*2,301*	*2,321*	*2,344*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,376	2,405	2,405	2,405	2,391	2,235	2,254	2,256	2,265	2,262
Seewasser	*2,376*	*2,420*	*2,420*	*2,434*	*2,420*	*2,236*	*2,265*	*2,265*	*2,273*	*2,270*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 3 Normalsand										
Süßwasser	2,303	2,347	2,362	2,362	2,362	2,179	2,203	2,217	2,228	2,214
Seewasser	*2,320*	*2,376*	*2,376*	*2,391*	*2,362*	*2,180*	*2,217*	*2,225*	*2,234*	*2,223*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,227	2,274	2,274	2,303	2,274	2,101	2,135	2,146	2,158	2,161
Seewasser	*2,228*	*2,274*	*2,289*	*2,303*	*2,303*	*2,100*	*2,152*	*2,158*	*2,166*	*2,161*
1 Bindemittel (65 Cement + 35 Traß) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,405	—	2,449	2,449	—	2,265	—	2,293	2,310	—
Seewasser	*2,405*	—	*2,478*	*2,478*	—	*2,265*	—	*2,307*	*2,318*	—
1 Bindemittel (65 Cement + 35 Traß) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,230	—	2,303	2,289	—	2,110	—	2,155	2,161	—
Seewasser	*2,230*	—	*2,303*	*2,303*	—	*2,110*	—	*2,172*	*2,177*	—
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Feinsand) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,464	2,478	2,493	2,493	2,493	2,327	2,344	2,349	2,358	2,363
Seewasser	*2,464*	*2,493*	*2,507*	*2,522*	*2,507*	*2,329*	*2,361*	*2,363*	*2,383*	*2,383*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Feinsand) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,227	2,274	2,274	2,289	2,274	2,108	2,141	2,158	2,169	2,158
Seewasser	*2,227*	*2,274*	*2,289*	*2,303*	*2,303*	*2,107*	*2,155*	*2,163*	*2,172*	*2,166*

Cement D.

Erhärtungsart	Mittleres Raumgewicht (aus je 10 Körpern) der Zugproben nach 24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	der Druckproben nach 24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,471	2,522	2,522	2,536	2,522	2,298	2,324	2,346	2,349	2,352
Seewasser	*2,473*	*2,522*	*2,522*	*2,536*	*2,536*	*2,297*	*2,321*	*2,344*	*2,346*	*2,377*
1 Cement + 3 Normalsand										
Süßwasser	2,340	2,391	2,405	2,420	2,405	2,203	2,239	2,254	2,265	2,268
Seewasser	*2,342*	*2,405*	*2,405*	*2,434*	*2,420*	*2,203*	*2,245*	*2,262*	*2,276*	*2,299*
1 Cement + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,223	2,259	2,303	2,303	—	2,093	2,149	2,163	2,177	2,172
Seewasser	*2,227*	*2,274*	*2,303*	*2,303*	—	*2,092*	*2,158*	*2,186*	*2,192*	*2,175*
1 Cement + 4 Rohsand										
Süßwasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Seewasser	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,383	2,420	2,420	2,434	2,434	2,225	2,248	2,262	2,273	2,279
Seewasser	*2,380*	*2,420*	*2,434*	*2,434*	*2,420*	*2,225*	*2,248*	*2,262*	*2,270*	*2,282*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 3 Normalsand										
Süßwasser	2,323	2,347	2,362	2,376	2,376	2,170	2,194	2,208	2,217	2,217
Seewasser	*2,325*	*2,362*	*2,362*	*2,376*	*2,376*	*2,171*	*2,203*	*2,211*	*2,211*	*2,217*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,208	2,259	2,274	2,289	2,289	2,088	2,130	2,141	2,115	2,144
Seewasser	*2,208*	*2,259*	*2,274*	*2,289*	*2,289*	*2,089*	*2,130*	*2,144*	*2,149*	*2,155*
1 Bindemittel (67 Cement + 33 Traß) + 2 Normalsand										
Süßwasser	—	—	2,449	2,478	—	—	—	2,285	2,293	—
Seewasser	—	—	*2,449*	*2,478*	—	—	—	*2,282*	*2,290*	—
1 Bindemittel (67 Cement + 33 Traß) + 4 Normalsand										
Süßwasser	—	—	2,303	2,318	—	—	—	2,166	2,163	—
Seewasser	—	—	*2,303*	*2,332*	—	—	—	*2,163*	*2,172*	—
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Feinsand) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,464	2,478	2,478	2,493	2,478	2,293	2,327	2,327	2,335	2,335
Seewasser	*2,464*	*2,493*	*2,493*	*2,507*	*2,493*	*2,293*	*2,330*	*2,321*	*2,324*	*2,358*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Feinsand) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,201	2,245	2,274	2,289	2,259	2,079	2,132	2,149	2,155	2,155
Seewasser	*2,201*	*2,259*	*2,289*	*2,303*	*2,274*	*2,079*	*2,135*	*2,155*	*2,172*	*2,163*

Cement C.

Erhärtungs-art	Mittleres Raumgewicht (aus je 10 Körpern)									
	der Zugproben nach					der Druckproben nach				
	24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	24 Stunden	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand										
Süßwasser	—	2,536	—	2,551	2,551	—	2,372	—	2,389	2,392
Seewasser	—	*2,536*	—	*2,580*	*2,551*	—	*2,376*	—	*2,406*	*2,417*
1 Cement + 3 Normalsand										
Süßwasser	—	2,420	2,420	2,434	2,420	—	2,265	2,273	2,279	[2,017]
Seewasser	—	*2,420*	*2,434*	*2,464*	*2,449*	—	*2,268*	*2,285*	*2,299*	[*2,034*]
1 Cement + 4 Normalsand										
Süßwasser	—	2,289	2,303	2,318	2,332	—	2,163	2,192	2,203	2,214
Seewasser	—	*2,289*	*2,318*	*2,347*	*2,318*	—	*2,183*	*2,197*	*2,189*	*2,208*
1 Cement + 4 Rohsand										
Süßwasser	—	2,449	2,464	2,464	2,478	—	2,287	2,287	2,290	2,313
Seewasser	—	*2,434*	*2,478*	*2,478*	*2,493*	—	*2,290*	*2,296*	*2,321*	*2,346*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 2 Normalsand										
Süßwasser	—	2,420	2,420	2,420	2,420	—	2,270	2,276	2,285	2,287
Seewasser	—	*2,420*	*2,434*	*2,449*	*2,434*	—	*2,270*	*2,285*	*2,287*	*2,287*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 3 Normalsand										
Süßwasser	2,333	2,376	2,376	2,391	2,391	2,197	2,223	2,231	2,239	2,242
Seewasser	*2,332*	*2,376*	*2,405*	*2,405*	*2,391*	*2,195*	*2,239*	*2,242*	*2,251*	*2,248*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,226	2,289	2,289	2,318	2,303	2,110	2,146	2,158	1,163	2,166
Seewasser	*2,223*	*2,303*	*2,303*	*2,318*	*2,318*	*2,110*	*2,161*	*2,172*	*2,166*	*2,177*
1 Bindemittel (70 Cement + 30 Traß) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,420	—	2,449	2,449	—	2,270	—	2,307	2,307	—
Seewasser	*2,420*	—	*2,478*	*2,478*	—	*2,270*	—	*2,316*	*2,318*	—
1 Bindemittel (70 Cement + 30 Traß) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,245	—	2,303	2,318	—	2,127	—	2,166	2,177	—
Seewasser	*2,245*	—	*2,318*	*2,332*	—	*2,127*	—	*2,177*	*2,183*	—
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Feinsand) + 2 Normalsand										
Süßwasser	2,467	2,493	2,507	2,522	2,507	2,325	2,349	2,355	2,366	2,372
Seewasser	*2,470*	*2,507*	*2,507*	*2,536*	*2,507*	*2,325*	*2,361*	*2,363*	*2,377*	*2,369*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Feinsand) + 4 Normalsand										
Süßwasser	2,230	2,289	2,289	2,303	2,289	2,110	2,144	2,163	2,172	2,169
Seewasser	*2,228*	*2,289*	*2,303*	*2,318*	*2,289*	*2,110*	*2,149*	*2,169*	*2,180*	*2,172*

Tabelle 15. Mittelwerthe der Festigkeiten der aus den Cementen A, D und C hergestellten Probekörper.

Cement A.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit kg/qcm nach				Druckfestigkeit kg/qcm nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	37,6	41,8	45,5	50,7	354	462	582	621
Seewasser	*36,8*	*40,6*	*36,6*	*42,9*	*352*	*441*	*553*	*581*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	24,5	27,9	36,0	34,5	210	294	379	441
Seewasser	*22,9*	*28,3*	*30,1*	*28,9*	*207*	*274*	*337*	*368*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	17,1	21,4	26,9	26,2	144	200	266	304
Seewasser	*16,6*	*20,6*	*24,8*	*23,6*	*140*	*185*	*235*	*248*
1 Cement + 4 Rohsand								
Süßwasser	25,1	29,2	36,4	36,9	249	316	410	464
Seewasser	*26,4*	*30,3*	*30,2*	*32,3*	*243*	*294*	*357*	*366*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	21,7	35,2	41,9	44,5	168	364	467	514
Seewasser	*23,0*	*44,9*	*53,2*	*54,1*	*182*	*387*	*448*	*493*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 3 Normalsand								
Süßwasser	15,2	25,1	32,8	36,5	102	230	301	351
Seewasser	*18,4*	*34,6*	*39,6*	*37,7*	*110*	*250*	*296*	*329*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	9,0	18,1	23,5	29,5	58	130	189	241
Seewasser	*12,3*	*25,5*	*30,0*	*31,3*	*69*	*150*	*186*	*225*
1 Bindemittel (65 Cement + 35 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	—	39,5	44,0	—	—	438	558	—
Seewasser	—	*45,0*	*50,7*	—	—	*446*	*487*	—
1 Bindemittel (65 Cement + 35 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	—	18,3	25,2	—	—	156	221	—
Seewasser	—	*24,9*	*27,6*	—	—	*164*	*199*	—
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Feinsand) + 2 Normalsand								
Süßwasser	25,8	34,1	37,3	43,0	245	332	440	512
Seewasser	*25,0*	*35,3*	*36,9*	*38,4*	*244*	*331*	*382*	*426*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Feinsand) + 4 Normalsand								
Süßwasser	9,6	14,2	16,5	20,7	71	99	133	168
Seewasser	*9,6*	*14,3*	*16,6*	*20,3*	*70*	*96*	*115*	*135*

Cement D.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit kg/qcm nach				Druckfestigkeit kg/qcm nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	33,7	38,7	41,3	52,4	279	352	420	454
Seewasser	*35,1*	*40,2*	*38,2*	*29,3*	*283*	*351*	*383*	*402*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	23,3	27,2	33,7	36,9	183	243	295	343
Seewasser	*25,2*	*29,2*	*29,1*	*24,1*	*163*	*229*	*279*	*308*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	17,2	19,6	24,9	27,2	112	154	200	226
Seewasser	*16,9*	*20,2*	*20,8*	*18,8*	*117*	*148*	*179*	(92)
1 Cement + 4 Rohsand								
Süßwasser	—	—	—	—	—	—	—	—
Seewasser	—	—	—	—	—	—	—	—
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	18,7	32,3	40,0	36,3	143	291	406	435
Seewasser	*19,8*	*40,8*	*47,8*	*50,0*	*148*	*281*	*385*	*445*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 3 Normalsand								
Süßwasser	12,7	21,2	27,2	33,5	78	158	261	306
Seewasser	*14,2*	*28,2*	*36,0*	*36,2*	*88*	*169*	*241*	*299*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	10,1	15,0	19,2	25,0	61	107	161	219
Seewasser	*9,1*	*20,4*	*25,0*	*25,9*	*51*	*116*	*154*	*196*
1 Bindemittel (67 Cement + 33 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	—	35,3	46,2	—	—	311	460	—
Seewasser	—	*40,2*	*52,0*	—	—	*310*	*422*	—
1 Bindemittel (67 Cement + 33 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	—	16,8	22,5	—	—	120	187	—
Seewasser	—	*20,1*	*26,1*	—	—	*118*	*176*	—
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Feinsand) + 2 Normalsand								
Süßwasser	23,3	28,9	35,4	37,4	181	258	353	445
Seewasser	*22,6*	*31,0*	*36,0*	*27,3*	*191*	*263*	*312*	*399*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Feinsand) + 4 Normalsand								
Süßwasser	9,6	13,1	17,9	22,7	54	91	123	166
Seewasser	*10,1*	*11,8*	*14,9*	*19,1*	*58*	*85*	*99*	*115*

Cement C.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit kg/qcm nach				Druckfestigkeit kg/qcm nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	26,4	30,3	36,5	48,7	243	308	407	510
Seewasser	*26,1*	*26,2*	*27,7*	*29,9*	*231*	*298*	*367*	*402*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	19,2	24,0	29,6	31,0	130	196	262	302
Seewasser	*18,0*	*22,9*	*22,7*	*23,7*	*126*	*186*	*230*	*226*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	13,9	16,8	22,4	27,0	103	145	199	245
Seewasser	*12,1*	*15,5*	*19,6*	*21,5*	*98*	*138*	*169*	*181*
1 Cement + 4 Rohsand								
Süßwasser	20,4	24,1	31,2	37,1	149	220	311	367
Seewasser	*20,7*	*25,7*	*25,2*	*28,4*	*152*	*218*	*268*	*276*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	19,4	29,8	35,9	35,5	137	297	445	489
Seewasser	*20,8*	*41,6*	*42,9*	*47,8*	*143*	*330*	*424*	*474*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 3 Normalsand								
Süßwasser	13,6	23,2	27,6	33,0	82	183	277	318
Seewasser	*14,9*	*33,1*	*37,7*	*43,0*	*83*	*214*	*252*	*295*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	8,0	14,6	18,9	25,3	56	113	174	219
Seewasser	*10,3*	*23,0*	*26,6*	*28,3*	*62*	*134*	*167*	*198*
1 Bindemittel (70 Cement + 30 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	—	33,6	40,7	—	—	319	440	—
Seewasser	—	*42,6*	*44,9*	—	—	*338*	*397*	—
1 Bindemittel (70 Cement + 30 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	—	16,6	21,5	—	—	127	195	—
Seewasser	—	*21,6*	*28,2*	—	—	*139*	*176*	—
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Feinsand) + 2 Normalsand								
Süßwasser	23,7	27,3	31,5	35,1	179	258	320	394
Seewasser	*23,7*	*26,8*	*29,9*	*26,0*	*185*	*245*	*280*	*303*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Feinsand) + 4 Normalsand								
Süßwasser	8,8	12,5	16,2	20,6	60	92	126	164
Seewasser	*9,8*	*13,6*	*15,0*	*18,8*	*62*	*91*	*105*	*127*

Tabelle 16. Verhältnißzahlen.

Veränderung der Zug- und Druckfestigkeit von Normalsandmischungen der Cemente A, D, C durch Zusätze von Traß und Feinsand zum Bindemittel. Süß- und Seewassererhärtung. Festigkeit der Mischung des reinen Cementes mit Normalsand nach 28 Tagen = 100.

Cement A.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit nach				Druckfestigkeit nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	90	100	109	121	77	100	126	134
Seewasser	*88*	*97*	*88*	*103*	*76*	*95*	*120*	*126*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	88	100	129	124	71	100	129	150
Seewasser	*82*	*101*	*108*	*104*	*70*	*93*	*115*	*125*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	80	100	126	122	74	100	136	152
Seewasser	*78*	*96*	*116*	*110*	*70*	*93*	*118*	*125*
1 Cement + 4 Rohsand								
Süßwasser	117	136	170	173	128	162	210	232
Seewasser	*123*	*142*	*141*	*151*	*122*	*147*	*179*	*183*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	52	84	100	106	36	77	101	112
Seewasser	*55*	*107*	*127*	*130*	*39*	*84*	*97*	*107*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 3 Normalsand								
Süßwasser	55	90	118	131	35	76	102	120
Seewasser	*66*	*124*	*142*	*135*	*38*	*85*	*101*	*112*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	42	85	110	138	30	67	97	121
Seewasser	*57*	*119*	*140*	*146*	*35*	*75*	*93*	*113*
1 Bindemittel (65 Cement + 35 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	—	95	105	—	—	95	121	—
Seewasser	—	*108*	*121*	—	—	*97*	*105*	—
1 Bindemittel (65 Cement + 35 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	—	86	118	—	—	80	113	—
Seewasser	—	*116*	*129*	—	—	*82*	*100*	—
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Feinsand) + 2 Normalsand								
Süßwasser	62	82	89	103	53	72	95	111
Seewasser	*60*	*84*	*88*	*94*	*53*	*72*	*83*	*92*
1 Bindemittel (52 Cement + 48 Feinsand) + 4 Normalsand								
Süßwasser	45	66	77	97	36	51	68	84
Seewasser	*45*	*67*	*78*	*95*	*35*	*48*	*58*	*68*

Cement D.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit nach				Druckfestigkeit nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	87	100	107	136	79	100	119	129
Seewasser	*97*	*104*	*99*	*76*	*80*	*100*	*109*	*114*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	86	100	124	136	76	100	121	141
Seewasser	*93*	*107*	*107*	*89*	*67*	*94*	*115*	*126*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	88	100	127	138	73	100	127	147
Seewasser	*86*	*103*	*106*	*96*	*76*	*96*	*116*	*60*
1 Cement + 4 Rohsand								
Süßwasser	—	—	—	—	—	—	—	—
Seewasser	—	—	—	—	—	—	—	—
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	48	83	103	94	41	83	115	124
Seewasser	*51*	*105*	*124*	*129*	*42*	*80*	*109*	*126*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 3 Normalsand								
Süßwasser	47	78	100	123	32	65	108	126
Seewasser	*52*	*104*	*132*	*133*	*36*	*70*	*99*	*123*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	52	77	98	128	40	68	105	142
Seewasser	*46*	*104*	*128*	*132*	*33*	*75*	*100*	*128*
1 Bindemittel (67 Cement + 33 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	—	91	119	—	—	88	131	—
Seewasser	—	*104*	*134*	—	—	*88*	*120*	—
1 Bindemittel (67 Cement + 33 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	—	86	115	—	—	77	121	—
Seewasser	—	*103*	*133*	—	—	*77*	*114*	—
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Feinsand) + 2 Normalsand								
Süßwasser	60	75	92	96	51	73	100	126
Seewasser	*58*	*80*	*93*	*70*	*54*	*75*	*89*	*113*
1 Bindemittel (55 Cement + 45 Feinsand) + 4 Normalsand								
Süßwasser	49	67	91	116	35	59	78	108
Seewasser	*52*	*60*	*76*	*97*	*38*	*55*	*64*	*75*

Cement C.

Erhärtungsart	Zugfestigkeit nach				Druckfestigkeit nach			
	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	1 Jahr
1 Cement + 2 Normalsand								
Süßwasser	87	100	120	160	79	100	132	166
Seewasser	*86*	*86*	*91*	*99*	*75*	*97*	*119*	*130*
1 Cement + 3 Normalsand								
Süßwasser	80	100	123	130	66	100	134	154
Seewasser	*75*	*95*	*95*	*99*	*64*	*95*	*117*	*116*
1 Cement + 4 Normalsand								
Süßwasser	83	100	133	161	71	100	137	169
Seewasser	*72*	*92*	*117*	*128*	*68*	*95*	*117*	*125*
1 Cement + 4 Rohsand								
Süßwasser	121	143	186	221	102	151	214	252
Seewasser	*123*	*153*	*150*	*169*	*105*	*150*	*185*	*190*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	64	98	118	117	45	97	145	159
Seewasser	*69*	*137*	*142*	*158*	*46*	*107*	*138*	*153*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 3 Normalsand								
Süßwasser	57	97	115	138	42	94	141	162
Seewasser	*62*	*138*	*157*	*179*	*42*	*109*	*129*	*150*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	48	87	113	150	38	76	119	151
Seewasser	*61*	*137*	*158*	*168*	*43*	*92*	*115*	*137*
1 Bindemittel (70 Cement + 30 Traß) + 2 Normalsand								
Süßwasser	—	111	134	—	—	103	143	—
Seewasser	—	*141*	*148*	—	—	*110*	*129*	—
1 Bindemittel (70 Cement + 30 Traß) + 4 Normalsand								
Süßwasser	—	99	128	—	—	88	134	—
Seewasser	—	*129*	*168*	—	—	*96*	*121*	—
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Feinsand) + 2 Normalsand								
Süßwasser	78	90	104	116	58	84	104	128
Seewasser	*78*	*88*	*99*	*86*	*60*	*80*	*91*	*98*
1 Bindemittel (60 Cement + 40 Feinsand) + 4 Normalsand								
Süßwasser	52	74	96	122	42	63	86	113
Seewasser	*58*	*81*	*89*	*112*	*43*	*63*	*72*	*86*

Der besseren Uebersicht wegen sind die in Tabelle 14 enthaltenen Raumgewichte und die in Tabelle 16 enthaltenen Verhältnißzahlen der Festigkeiten zum Theil zeichnerisch aufgetragen worden (vergl. Taf. I—III) und zwar, um nicht zu viele Figuren zu erhalten, die Raumgewichte der Körper aus den Cementen A und D und der Mischungen 1 + 2 und 1 + 4 getrennt für Zugproben und für Druckproben (Fig. 13—16).

Die Festigkeitsänderungen der Mörtel 1 + 2, 1 + 3 und 1 + 4 Normalsand und 1 + 4 Rohsand mit Berücksichtigung der Zusätze von Traß und Feinsand zum Bindemittel sind für alle drei Cemente in den Fig. 17 – 34 aufgetragen.

Schließlich sind noch in Fig. 35—40 die Quotienten aus Zug- und Druckfestigkeit aller drei Cemente getrennt für Süßwasser- und für Seewassererhärtung eingezeichnet, indem die Länge der Ordinaten die Zugfestigkeit, die Länge der Abscissen die Druckfestigkeit in kg/qcm darstellt.

Die letztere Darstellung war aus folgenden Gründen erwünscht. Der Angriff des Meerwassers erfolgt von der Oberfläche der Körper aus, also von außen nach innen. Die Größe der Veränderung der Zug- und Druckfestigkeit in Folge chemischer Wirkung des Meerwassers ist also von dem Verhältniß der Oberfläche der Körper, den Außenschichten zur Körpermasse abhängig. Dieses Verhältniß ändert sich mit der wachsenden Veränderung der Zugproben wesentlich, und es geben daher die Kurven Aufschluß über das wechselseitige Verhalten der verschiedenen Mischungen bei gleicher Inanspruchnahme der Zug- und der Druckproben.

Zeichenerklärung für Fig. 13—34.

In den Kurven beziehen sich die ausgezogenen Linien auf die Raumgewichte bezw. die verhältnißmäßigen Festigkeitsänderungen bei Süßwassererhärtung, die gestrichelten Linien auf die Raumgewichte bezw. die entsprechenden Festigkeitsänderungen bei Seewassererhärtung.

Die schwarzen Linien beziehen sich auf reinen Cement als Bindemittel des Mörtels.
„ rothen „ „ „ „ die Mischung 52 Cement + 48 Traß (A)
bezw. 55 „ + 45 „ (D)
bezw. 60 „ + 40 „ (C)
als Bindemittel des Mörtels.

Die blauen Linien beziehen sich auf die entsprechenden Mischungen von Cement mit Feinsand als Bindemittel.

Die grünen Linien beziehen sich auf die Mischung 65 Cement + 35 Traß (A)
bezw. 67 „ + 33 „ (D)
bezw. 70 „ + 30 „ (C)
als Bindemittel des Mörtels.

In Fig. 19, 22, 31 und 34 gelten die starken schwarzen Linien für die Rohsandmischung 1 + 4.

Zeichenerklärung für Fig. 35—40.

In den Fig. 35—40 bedeutet
• Mörtel mit Normalsand,
⊙ „ „ Rohsand,
* „ „ hohem Traßzusatz,
× „ „ geringerem Traßzusatz,
△ „ „ Zusatz von Feinsand.

Die rothen Zeichen bedeuten die Mischung 1 + 2, die blauen die Mischung 1 + 3, die schwarzen die Mischung 1 + 4.

X. Endergebniß und Schlußfolgerungen.

Raumgewichte.

Die Raumgewichte aller Körper nehmen mit fortschreitendem Alter bis zu drei Monaten zu und zwar im Seewasser stärker als im Süßwasser. Von drei Monaten Alter bis zu 1 Jahr Alter der Proben scheint eine wesentliche Veränderung des Raumgewichtes der Körper nicht vor sich zu gehen. In einzelnen Versuchsreihen, namentlich der Zugproben scheint eine Verminderung der Raumgewichte (also eine Auslaugung der Körper) im Laufe der Zeit einzutreten und zwar nahezu gleichmäßig im Seewasser wie im Süßwasser. Ob diese Erscheinung fortschreitet, muß die Beobachtung der noch zurückbehaltenen Versuchsreihen ergeben.

Die mageren Mörtel haben sich hinsichtlich der Veränderung der Raumgewichte ganz ähnlich wie die fetten Mörtel verhalten, die Feinsandmörtel ähnlich wie die Traßmörtel. (Vergl. Fig. 13—16 sowie Tab. 14).

Festigkeit.

Vor Besprechung der Festigkeitsergebnisse ist festzustellen, daß die Form der Proben im Seewasser keine Veränderung erlitten hat, daß also mechanische Einflüsse nicht beobachtet wurden; dagegen hatten die Seewasserproben im Vergleich zu den Süßwasserproben eine dunklere Färbung angenommen und waren anscheinend an der Oberfläche härter als im Innern.

Auf die etwaige Wirkung dieser Erscheinung wird weiter unten noch näher eingegangen werden.

Um ein klares Bild über das Ergebniß der Versuche zu gewinnen, sind folgende Fragen zu beantworten:

1. Wie charakterisiren sich die drei Cemente nach ihren Festigkeitseigenschaften und wie verläuft allgemein der Erhärtungsfortgang?
2. Verhalten sich die fetten Mörtel anders als die mageren?
3. Welchen Einfluß hat die Art des Sandes?
4. Verbessern die Zusätze zum Cement den Mörtel?
5. Wirken höhere Traßzusätze günstiger als schwächere?
6. Ist die Wirkung des Trasses chemischen Einflüssen zuzuschreiben; kann Feinsand den Traß ersetzen?
7. Ist das kalkreichste Bindemittel im Seewasser weniger widerstandsfähig, oder sind sonst wesentliche Unterschiede im Verhalten der drei Cemente beobachtet?

Diese Fragen sind wie folgt zu beantworten:

1. Nach ihren Festigkeitseigenschaften sind die drei Cemente unter einander nicht sehr verschieden. Alle drei sind normenmäßige Portland-Cemente. Der kalkreichste Cement A zeichnet sich durch hohe Druckfestigkeiten aus.

Der Erhärtungsverlauf ist bei allen Proben im Süßwasser und im Seewasser ein regelmäßiger. Die Festigkeit schreitet bis zu drei Monaten stetig fort; von da an nimmt sie nur wenig oder gar nicht zu. In einigen Reihen geht die Festigkeit der Seewasserproben nach einem gewissen Alter der Proben zurück und zwar namentlich die Zug-

festigkeit der reinen Cementmörtel A und D 1 : 2, 1 : 3 und 1 : 4 Normalsand; die Umkehr scheint in diesen Mischungen schon nach 1 Monat Alter vor sich zu gehen[1]).

Der Cement B, der nur zu den Mischungen 1 : 2, 1 : 3 und 1 : 4 Normalsand verwendet, dann aber von weiteren Versuchen ausgeschlossen wurde, zeigt bis zu 1 Jahr Alter sowohl in Süßwasser wie in Seewasser regelmäßigen Erhärtungsfortgang.

2. Die fetten Normalsandmörtel 1 : 2 verhalten sich nicht wesentlich anders als die mageren 1 : 4, abgesehen davon, daß die fetten Mörtel naturgemäß höhere Festigkeiten erreichen als die mageren.

3. Der gemischtkörnige, also weniger Hohlräume in sich schließende Rohsand giebt naturgemäß weit günstigere Festigkeiten als der Normalsand in gleicher Mischung. Im Seewasser schreitet zwar die Festigkeit der Rohsandmörtel nach drei Monaten langsam fort, bleibt aber trotz der großen Dichte der Körper (Tab. 14) sehr erheblich hinter der Festigkeit der Süßwasserproben zurück, die bis zu 1 Jahr Alter noch beträchtlich zunimmt. Besonders deutlich äußert sich dieser Einfluß auf die Druckfestigkeit. Der abschwächende Einfluß des Seewassers ist bei diesen Proben unverkennbar und mit der Zeit sich stärker äußernd, ganz wie bei den reinen Cement-Normalsand-Mischungen.

4. Im Süßwasser setzt der Ersatz des Cementes durch Feinsand oder Traß die Festigkeit der Mörtel — wie zu erwarten — im allgemeinen herab und zwar bei allen drei Cementen annähernd gleich. Nur in den fetten Mischungen der Cemente D und C steigert der geringere Traßzusatz die Festigkeit der Süßwasserproben.

Der stärkere Traßzusatz bewirkt bei den Cementen D und C nur eine erhebliche Steigerung der Druckfestigkeit; diese kommt nach 1 Jahr Alter der Proben bereits den reinen Cementmörteln nahe. Der Feinsand setzt namentlich bei den Mörteln 1 : 4 die Festigkeit stärker herab als Traß, verschlechtert aber nicht den Erhärtungsfortgang.

Im Seewasser ist bei 7 Tagen Alter der Proben ebenfalls die Zug- und Druckfestigkeit der Mörtel mit Zuschlägen erheblich geringer als die der Mörtel ohne Zuschläge. Schon innerhalb eines Monats überholen indessen die Mörtel mit Traßzuschlag die Zugfestigkeit der reinen Cementmörtel, während die Druckfestigkeit der Traßmörtel noch hinter der der reinen Cementmörtel zurückbleibt, wenn sie ihr auch nach 1 Jahr Alter schon sehr nahe kommt.

Nur die Druckfestigkeit der Traßmörtel des Cementes C ist nach 1 Jahr höher als die der reinen Cementmörtel. (Cement C ist der kalkarme und thonerdereiche Cement).

Die Feinsandmörtel bleiben hinter der Festigkeit der reinen Mörtel zurück, zeigen aber einen stärkeren Erhärtungsfortschritt als diese.

5. So weit man die Frage nach dem Ausfall der 3 Monatsproben beurtheilen kann, wirken die geringeren Traßzuschläge in beiden Wässern günstiger als die stärkeren. Die Wirkung auf die Zugfestigkeit ist eine andere als die auf die Druckfestigkeit. Das Süßwasser wirkt auf die Erhöhung der Druckfestigkeit der Mörtel mit niederen Traßzuschlägen günstiger als das Seewasser, während das Seewasser auf die Zugfestigkeit dieser Mörtel in erhöhtem Maße begünstigend einwirkt. Eine Ausnahme machen die Zugproben der Mörtel 1 + 2 und 1 + 4 des Cementes A (das ist der kalkreichste Cement), auf dessen Zugfestigkeit der höhere Traßzusatz besser wirkt als der niedere. Auch in der Druckfestigkeit scheint diese

[1]) Hier sei erwähnt, daß die Vertreter des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten sich gegen die Verwendung des Cementes D zu den Versuchen ausgesprochen hatten. Dr. Michaelis erklärt dem gegenüber den Cement D für einen ganz normalen, völlig einwandsfreien Handelscement.

Neigung vorhanden zu sein, indessen kommt dort voraussichtlich der Einfluß des höheren Traßzusatzes erst später zur Wirkung.

6. Die Feinsandmörtel haben zwar im allgemeinen denselben Erhärtungsfortgang wie die Traßmörtel, stehen aber in ihrer Festigkeit soweit hinter diesen zurück, daß der Unterschied zwischen beiden augenfällig und nicht anzunehmen ist, die Wirkung beider Stoffe sei ausschließlich physikalischer Natur.

In wie weit eine chemische Bindung des Kalkes durch den Traßzusatz vor sich gegangen ist, müßte durch chemische und event. mikroskopische Untersuchung der Probenreste festgestellt werden.

7. Die günstige Wirkung der Traßzuschläge im Seewasser macht sich auf den kalkarmen Cement C stärker geltend, als auf den kalkreichen Cement A[1]).

Im übrigen zeigen die drei Cemente außer den bereits erwähnten keine wesentlichen Unterschiede.

Nach vorstehenden Ausführungen ist durch diese Vorversuche der Beweis erbracht, daß es[2]) möglich ist, durch Zusätze von Traß innerhalb gewisser Grenzen zu Portland-Cementen diese für die Benutzung im Seewasser geeigneter zu machen.

Wie weit diese Grenzen bei Cementen verschiedener Herkunft zu stecken sind, müßte durch besondere Versuchsreihen im Großen und mit langen Beobachtungszeiten ermittelt werden, weil Versuche mit kleinen Körpern nicht immer einen sicheren Schluß auf das Verhalten großer Blöcke zulassen.

Im Anschluß an die Versuche sei gestattet, auf die in Figur 35—40 deutlich in die Erscheinung tretende Aenderung des Verhältnisses von Zug und Druck etwas näher einzugehen, die auch aus Fig. 41 Taf. III ersichtlich ist, welche die zwanglos gezogenen Ausgleichslinien der einzelnen Versuchsgruppen in Fig. 35—40 enthält.

Die schwarzen Linien beziehen sich auf Seewasserproben mit Traßzusatz, die rothen auf Seewasserproben ohne Traßzusatz. Die Ausgleichslinien für Süßwasserproben mit und ohne Traßzusatz fallen zusammen und werden durch die blauen Linien dargestellt. Die Kurven, welche die Seewasserproben ohne Traßzusatz bilden, fallen im wesentlichen mit denen der Süßwasserproben zusammen, haben aber die Neigung, mit zunehmendem Alter nach unten abzuweichen; das Verhältniß Zug: Druck wird also bei den Seewasserproben mit zunehmendem Alter kleiner als bei den Süßwasserproben. Die Seewasserproben mit Traßzusatz bilden Kurven, die sich von denen der anderen Probekörper scharf abzweigen. Das Verhältniß Zug: Druck der Seewasserproben mit Traß ist verhältnißmäßig hoch.

Vergleicht man die Verhältniß-Kurven der drei chemisch so weit wie möglich verschiedenen Cemente unter sich, so findet man, daß sie in allen drei Versuchsgruppen von einander ab-

---

[1]) Herr Dr. Goslich hält es im Gegensatz zu den übrigen Kommissionsmitgliedern für nothwendig, hinzuzufügen, „daß nach Michaelis' Theorie gerade der kalkreichere Cement A eines größeren Traßzusatzes bedarf, als die kalkärmeren Cemente C und D."

[2]) Hier hat in der ursprünglichen Fassung des Kommissionsbeschlusses das Wort: „vielleicht" gestanden, ist aber auf Mehrheitsbeschluß nachträglich gestrichen worden, weil es das Ergebniß der Versuche allzusehr einschränkt. Für die Beibehaltung des Wortes erklärten sich nur die Herren Dyckerhoff und Dr. Goslich.

weichen. Die Abweichungen der Verhältniß-Kurven der Seewasserproben sind wahrscheinlich auf den chemischen Einfluß des Seewassers auf die Oberflächen der Körper zurückzuführen, die ja in der That anscheinend größere Härte als das Innere aufweisen.

Wenn ein solcher Einfluß vorhanden ist, so muß er sich auf den Mörtel der Zugprobe und Druckprobe gleichmäßig äußern, gleichmäßig tief in die Körper eindringen. Bei dem kleineren Querschnitt der Zugproben wird dann aber ein verhältnißmäßig größerer Theil des Querschnittes beeinflußt als bei den Druckproben. Diese Erscheinung wird deutlicher hervortreten, wenn man Versuche mit geometrisch ähnlichen Körpern verschiedener Größe ausführt.

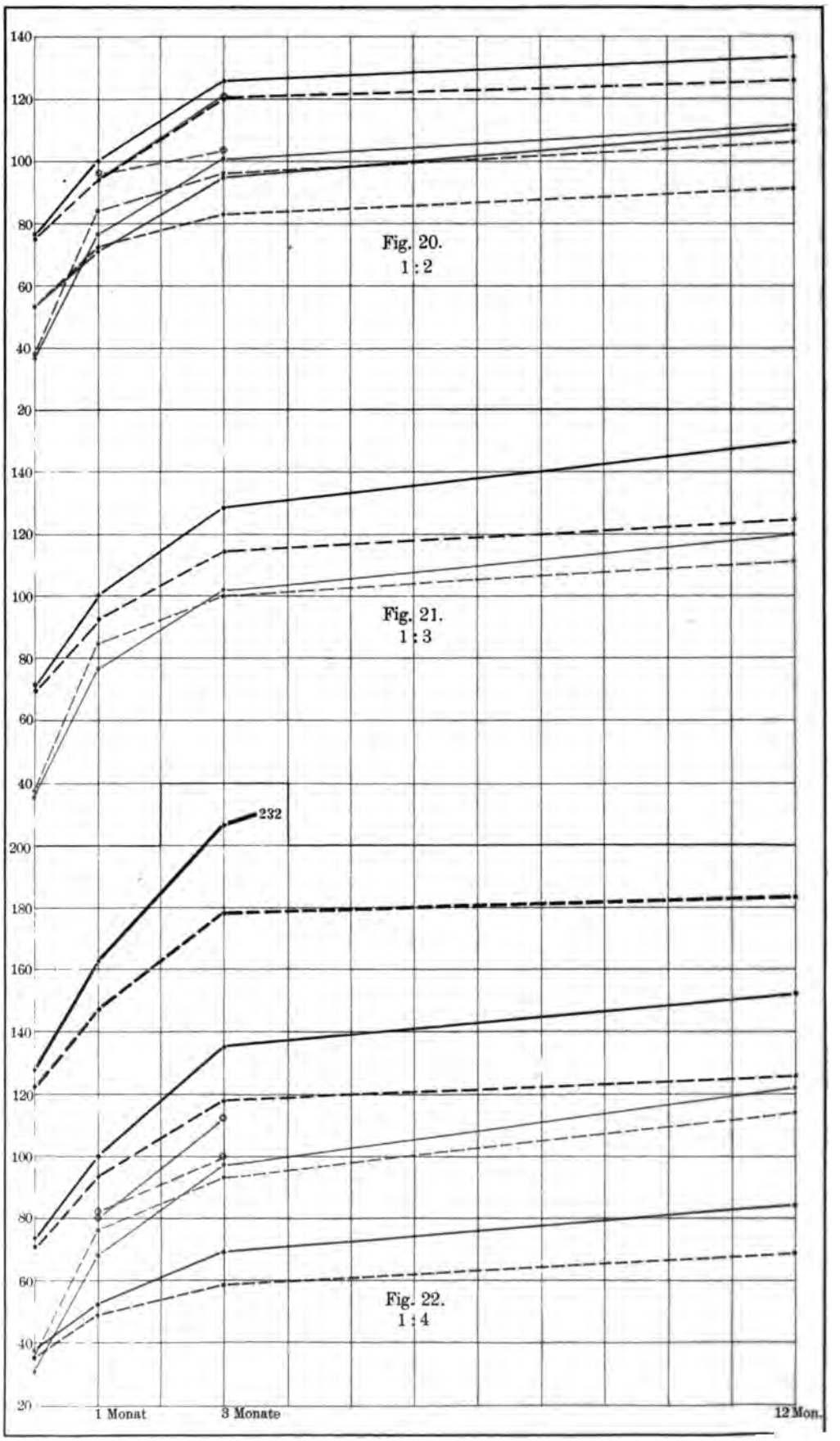
Da die Spannungsvertheilung im Querschnitt homogener Körper bei sehr kurzer Gebrauchslänge wie im vorliegenden Falle während des Versuchs verschieden ist, an den Kanten stärkere Spannung sich äußert als in der Mitte des Querschnittes, so werden diejenigen Körper die größere Festigkeit aufweisen, die äußerlich am stärksten gehärtet sind.

Die Abweichungen der Seewasser-Kurven der Körper mit Traßzusatz weisen deshalb darauf hin, daß bei diesen Körpern eine von außen nach innen fortschreitende Härtung neben der inneren Erhärtung der Cementmörtel einhergeht, die ausschließlich auf chemische Einflüsse des Meerwassers zurückzuführen ist. Diese Vermuthung müßte durch mikroskopische Prüfungen bestätigt werden.

Für die Redaktion verantwortlich: A. Martens. — Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

Druckfestigkeit: Kurven der Verhältnisszahlen **Tab. 16.** **Taf. I.**



Verlag von Julius Springer

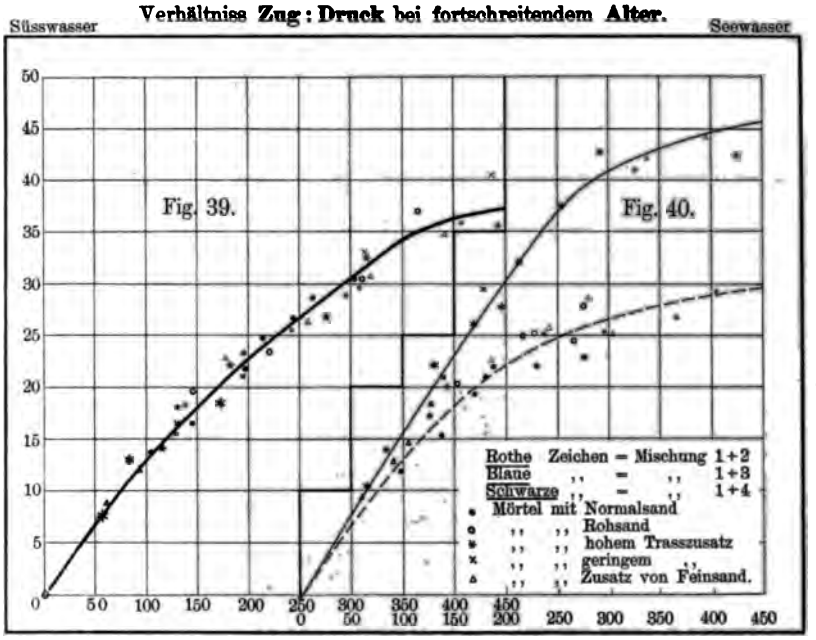
Gary, Bericht über das Verhalten hydraulischer Bindemittel im Seewasser.

Cement C.

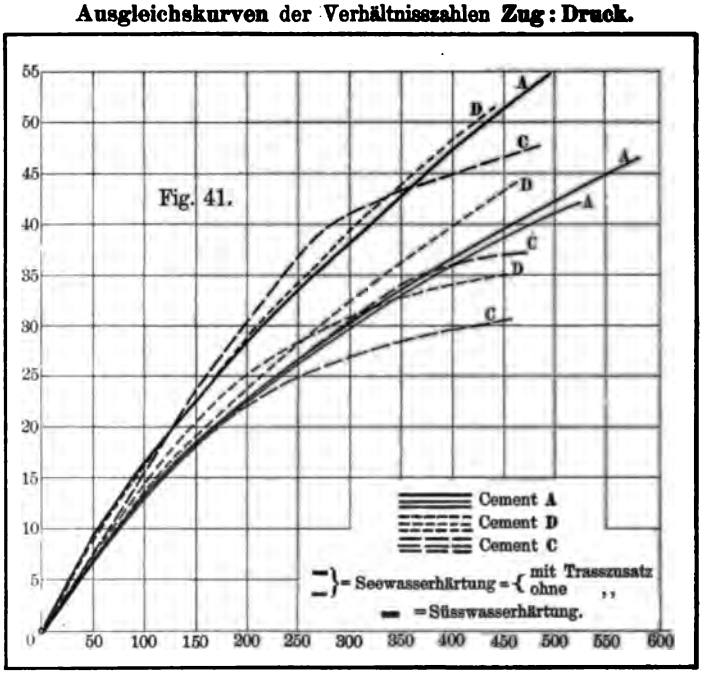
Zeichenerklärung zu Fig. 29—34.

——— Süsswasserproben – – – – Seewasserproben ▬▬ Rohsandmischungen.
═══ Bindemittel reiner Cement ▬▬ Cement mit Feinsand
═══ ,, Cement mit höherem Trasszusatz ▬▬ mit niederem Trasszusatz.

Verhältniss Zug : Druck bei fortschreitendem Alter.

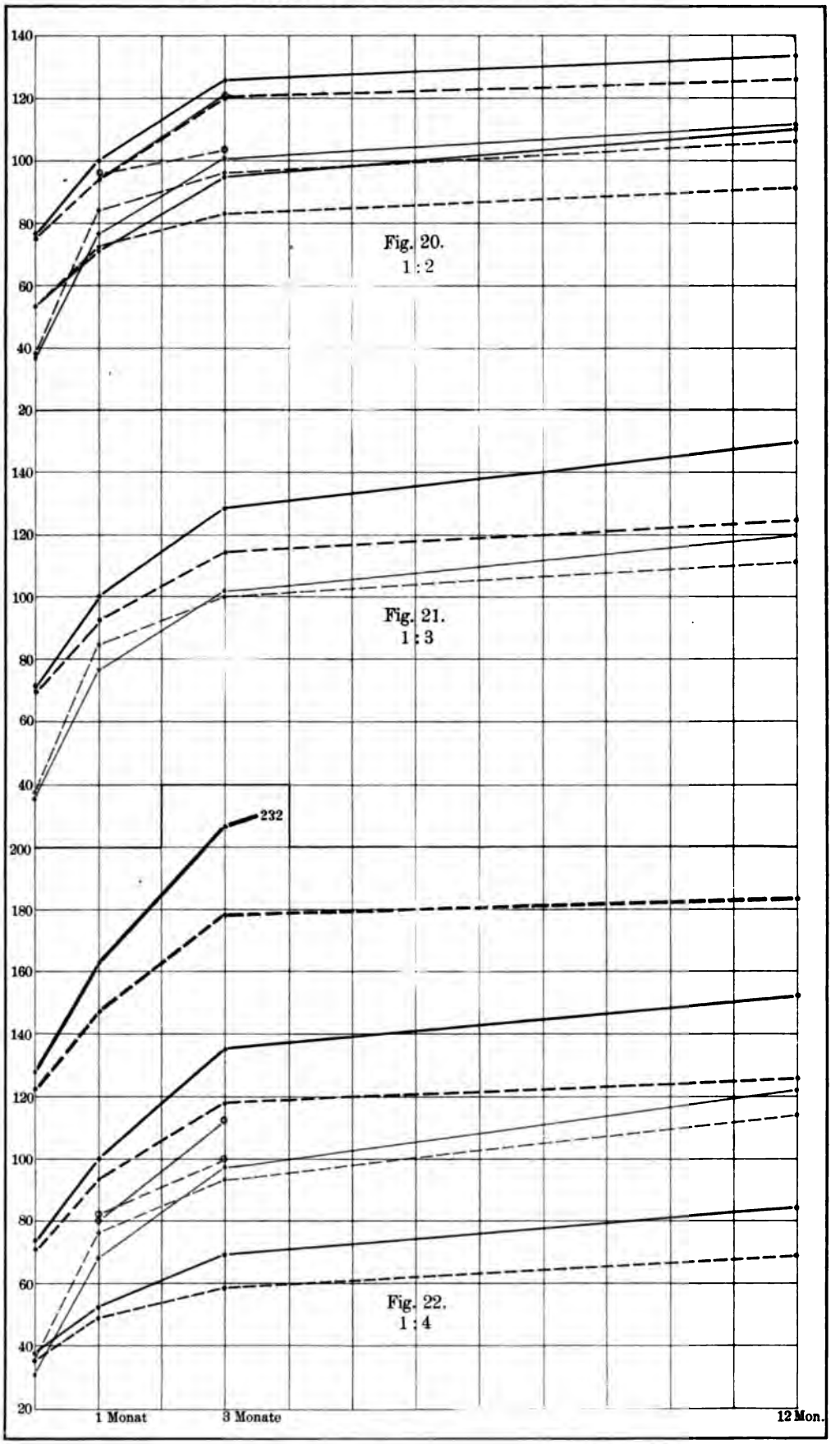


Ausgleichskurven der Verhältnisszahlen Zug : Druck.



Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druckfestigkeit: Kurven der Verhältnisszahlen Tab. 16. **Taf. I.**



Verlag von Julius Springer in Berlin.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

Sechzehnter Jahrgang. 1898. — Mit 8 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. Heft. **Gary.** Ueber die Ursachen der Abweichungen in den Festigkeits-Ergebnissen der Cementprüfung an verschiedenen Orten. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: Zeitungsdruckpapiere.

2. Heft. **Prof. Martens.** Prüfung eines Drahtseiles von 90 mm Durchmesser auf Zugfestigkeit. — **Gary.** Prüfung der Hammerapparate, Bauart Böhme. — **Dr. Holde** und **Dr. Allen.** Die quantitative Bestimmung des Paraffins in Destillaten des Rohpetroleums und des Braunkohlentheers. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: 1. Verwendbarkeit verwitterter Gesteine zu Bauzwecken. 2. Prüfung von Trottoirplatten auf Haftvermögen.

3. Heft. Bekanntmachung. **Gary.** Normalsande. — **Herzberg.** Die Schäfferschen Papierversuche. — **Prof. Martens** und **Dr. Holde.** Die Flammpunktsbestimmung von hochsiedenden Erdöldestillaten.

4. Heft. **Prof. Rudeloff.** Ueber den Einfluß der Wärme, chemischen Zusammensetzung und mechanischen Bearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Kupfer. — Vergleichende Betrachtungen über einige Ergebnisse von Versuchen mit Garnen und Seilen aus Hanf. Von **Prof. B. Kirsch** in Wien („Mittheilungen des Technologischen Gewerbemuseums" 1898) nebst Entgegnung von **Prof. M. Rudeloff.** — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: 1. Ausbildung im Papierprüfen. 2. Hektographenpapier.

5. Heft. **Gary.** Prüfung natürlicher Gesteine in den Betriebsjahren 1895/96 bis 1897/98. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: 1. Holzfreies Papier. 2. Tauenpapier.

6. Heft. Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1897/98. — **Heyn.** Mikroskopische Untersuchungen an tiefgeätzten Eisenschliffen. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: Thon als Dichtungsmaterial.

Siebzehnter Jahrgang. 1899. — Mit 3 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. u. 2. Heft. Bekanntmachung. — Erklärung. — **Gary.** Prüfung vom Schornsteinmauerwerk. — **Herzberg.** Normalpapiere. — **Dr. Holde.** Die neuen Anleitungen zur Untersuchung der Mineralöle und des Ceresins für die zollamtliche Abfertigung. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: a. Ungeeignete Ziegel im Bau. b. Treibwirkungen in einer Kunststeinmasse c. Ostafrikanische Gesteine. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a. Einfluß höherer Wärmegrade auf die Festigkeitseigenschaften von Papier b. Widerstand gegen Zerknittern. c. Packpapierprüfung. — **Dr. Holde.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Oelprüfung: a. Die Bestimmung des Flüssigkeitsgrades nach Engler. b. Vorschläge für einheitliche Angaben und Prüfung des specifischen Gewichtes von Schmierölen. c. Vorschläge für eine einheitliche Benennung der leichtsiedenden Theile des Rohpetroleum. d. Die Feuergefährlichkeit von Petroleumbenzinen und Putzölen (In Gemeinschaft mit Pelgry).

3. Heft **Prof. Martens** und **Heyn.** Ueber die Mikrophotographie im auffallenden Licht und über die mikrophotographischen Einrichtungen der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg. — **Prof. Dr. Finkener.** Ueber die Feststellung der Temperatur, bei der Ceresin und Paraffin ihren Aggregatzustand ändern. — **Dr. Holde.** Die neuen Anleitungen zur Untersuchung der Mineralöle und des Ceresins für die zollamtliche Abfertigung (Fortsetzung). — **Prof. Rudeloff.** Prüfung von Gummischläuchen für Dampfheizungskuppelungen an Eisenbahnwagen. — **Gary.** Probebelastung von Decken. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a. Lieferung nach Probe. b. Manila-Packpapier.

4. Heft. **Gary.** Ziegelprüfungen in den Betriebsjahren 1895–1897. — **Prof. Rudeloff.** Der heutige Stand der Holzuntersuchungen und die Vereinheitlichung der Prüfungsverfahren. — Bekanntmachung.

5. Heft. **Bekanntmachung.** — **Prof. Rudeloff.** Untersuchungen über den Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. Theil II. — **Herzberg.** Normalpapiere. — **Herzberg.** Die Schäffer'schen Papierversuche

6. Heft. **Bekanntmachung.** — Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1898/99 — **Herzberg.** Falzverlust und Widerstand gegen Zerknittern und Reiben — **Herzberg.** Einfluß des Bedruckens auf die Festigkeitseigenschaften von Papier. — **Burchartz.** Linoleum. — Ergänzung hefte der „Mittheilungen".

Von den im Anschluß an die „**Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten**“ zur Ausgabe gelangenden **Ergänzungsheften** sind erschienen:

1887.

Heft I. **Die Festigkeitseigenschaften des Magnesiums.** Von A. Martens. Mit 3 Taf. Preis M. 4,—.

Heft II. **Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.** Von A. Martens. Preis M. 2,—.

Heft III. 1. **Mikroskopische Untersuchung des Papiers.** Von W. Herzberg. Mit 2 Lichtdrucktafeln. — 2. **Ergebnisse der Prüfungen von Apparaten zur Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Papier.** Von A. Martens. Mit 1 Tafel. Preis M. 5,—.

Heft IV. **Ueber Druckpapiere der Gegenwart.** Von A. Martens. Preis M. 1,—.

1888.

Heft I. Ergänzungen zu den im 2. Ergänzungshefte 1887 veröffentlichten **Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.** 1. **Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes von Metalldrähten.** Von Prof. A. Paalzow. Mit 1 Tafel. — 2. **Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Kleingefüge einerseits und der Leitungsgüte des Telegraphendrahtes andrerseits.** Von Dr. H. Wedding. Mit 7 Tafeln. Preis M. 6,—.

Heft II. **Bericht über die Ergebnisse von Festigkeitsversuchen mit gelöteten Drahtseilen und Drähten.** Von A. Martens. Mit 2 Tafeln. Preis M. 8,—.

Heft III. **Schmierölunterſuchungen.** Von A. Martens. Mit 4 Tafeln. Preis M. 6,—.

Heft IV. **Untersuchung japanischer Papiere.** Von A. Martens. Mit 3 Tafeln. Preis M. 5,—.

Heft V. **Bericht** über die im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe ausgeführten vergleichenden Untersuchungen von **Seilverbindungen für Fahrstuhlbetrieb.** Theil I. Ergebniß der Untersuchungen für ruhende Belastung. Von A. Martens. Preis M. 2,60.

1889.

Heft I. **Resultate der Untersuchungen des in der Eifel vorkommenden vulkanischen Sandes in Bezug auf seine Verwendbarkeit zur Mörtelbereitung.** Von Dr. Böhme. Mit 2 Tafeln. Preis M. 3,—.

Heft II. **Untersuchungen von natürlichen Gesteinen auf Festigkeit, specifisches Gewicht, Härtegrad, Wasseraufnahme, Cohäsionsbeschaffenheit und Wetterbeständigkeit.** Von Dr. Böhme. Mit 1 Tafel. Preis M. 4,—.

Heft III. **Bericht** über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirthschaft, Domänen und Forsten ausgeführten **Holzuntersuchungen.** Von M. Rudeloff. Mit 2 Tafeln. Preis M. 7,—.

Heft IV. **Festigkeitsuntersuchungen mit Zinkblechen der schlesischen Aktien-Gesellschaft für Bergbau- und Zinkhüttenbetrieb zu Lipine O.-S.** Von A. Martens. Mit 2 Tafeln. Preis M. 4,—.

Heft V. **Schmierölunterſuchungen.** Von A. Martens. (Fortsetzung zum Ergänzungsheft III. 1888.) Mit 1 Tafel. Preis M. 10,—.

1890.

Heft I. **Versuche über die Beiz- und Rostsprödigkeit des Eisens und Stahls.** Bericht des Professors A. Ledebur in Freiburg nebst den Versuchsergebnissen der mechan.-techn. Versuchsanstalt. Preis M. 3,—.

Heft II. **Untersuchungen mit Eisenbahnmaterialien,** ausgeführt im Auftrage des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten. Von Professor A. Martens. Mit 5 Tafeln. Preis M. 30,—.

1895.

Heft I. **Bericht über vergleichende Schmierölunterſuchungen,** ausgeführt in den Jahren 1889—1894. Von Dr. D. Holde. Preis M. 5,—.

1896.

Heft I. **Mittheilungen aus dem officiellen Bericht der im französischen Ministerium der öffentlichen Arbeiten gebildeten Commission des Méthodes d'Essai des Matériaux de Construction.** 1. Sitzungsperiode (1894). Band I Allgemeine Grundlagen. Uebersetzt vom Assistenten Paul Zizmann. Preis M. 2,60.

1899.

Heft I. **Bericht über die Raumbeständigkeit von zehn Portlandcementen,** nach Versuchen der Königl. mechan.-techn. Versuchsanstalt und der Kommission des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten erstattet von M. Gary. Mit 2 Tafeln. Preis M. 4,—.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

INDEXED

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft I. 1901.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS.

Untersuchungen

über den

Einfluß voraufgegangener Formänderungen auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle,

ausgeführt von

M. Rudeloff,
Professor,
stellvertretender Direktor und Vorsteher der Abtheilung für Metallprüfung.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 1 Tafel.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1901.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
350023
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R 1903 L

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY.
ASTOR, LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS

Inhalt.

Seite

Einleitung: Vorversuche, welche zeigen, daß die unter Berücksichtigung der vorausgegangenen Querschnittsänderungen berechneten Festigkeiten von den unmittelbar ermittelten abweichen 1

A. Einfluß der bei Luftwärme erzeugten Formänderungen.

I. Arbeitsplan

1. Versuche über den Einfluß des Streckens mittelst Zugbelastung 8
2. Versuche über den Einfluß des Biegens und Richtens 9
3. Versuche über den Unterschied im Einfluß des Längs- und Quervorstreckens 10

II. Das Probematerial und die Versuchsausführung

1. Versuche über den Einfluß des Streckens durch wiederholte Prüfung desselben Stabes . . . 11
2. Versuche über den Einfluß des Biegens und Richtens 13
3. Versuche über den Einfluß des Streckens an neu herausgearbeiteten Proben
   - α) Proben in der Richtung der Vorstreckung entnommen 14
   - β) Proben quer zur Richtung der Vorstreckung entnommen 15

III. Die Versuchsergebnisse

1. Wiederholte Prüfung derselben Stäbe 19
   - a) Die ursprünglichen Festigkeitseigenschaften des Probematerials 18
   - b) Einfluß des Vorstreckens auf die Festigkeitseigenschaften der Stäbe
     - α) Beziehungen zwischen den Eigenschaften vor und nach dem Strecken 21
     - β) Verhältniß der erstmaligen Höchstspannung zur späteren P- und Streckgrenze 31
   - c) Einfluß des Vorstreckens auf die Festigkeitseigenschaften des Materials 32
     - α) Beziehungen zwischen den Eigenschaften vor und nach dem Strecken 33
     - β) Verhältniß der erstmaligen Höchstspannung zur späteren P- und Streckgrenze 34

2. Einfluß des Biegens und Richtens
   - a) Längenänderungen in Folge Biegens und Richtens 36
   - b) Die Veränderungen der Festigkeitseigenschaften 38
   - c) Einfluß des Richtens im Vergleich mit dem des Streckens 47

3. Versuche mit Längs- und Querproben aus vorgestreckten Stäben
   - a) Die ursprünglichen Eigenschaften des Materials 48
   - b) Das Vorstrecken des Materials 48
   - c) Die Veränderungen der Festigkeitseigenschaften 55

B. Einfluß des Ausglühens auf die Festigkeitseigenschaften des durch Zugbelastung gestreckten Materials.

I. Das Probematerial 62

II. Die Versuchsergebnisse 63

1. Versuche mit den ungeglühten Stäben 64
2. Versuche mit den geglühten Stäben 66

C. Einfluß des Streckens bei höheren Wärmegraden.

I. Das Probematerial 66

II. Die Versuchsergebnisse 67

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY.
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

Untersuchungen über den Einfluß voraufgegangener Formänderungen auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle.

Zu den immer wiederkehrenden Aufgaben des Materialprüfungswesens gehört die Ermittelung der Festigkeitseigenschaften des Materials aus den Wandungen cylindrischer metallener Gefäße, besonders von Dampfkesseln und Gasbehältern. Bei der Benutzung solcher Gefäße hängt die Sicherheit gegen Bruch vornehmlich von dem Widerstande der Wandungen gegen die durch den herrschenden inneren Druck erzeugten Tangentialspannungen ab. Zur sachgemäßen Prüfung der Eigenschaften des Materials sind die Proben daher in der Querrichtung zu entnehmen und dann zunächst durch Richten aus dem gebogenen in den geraden Zustand überzuführen. Die Proben erfahren hierdurch bleibende Formänderungen, welche Veränderungen in den Eigenschaften des Materials zur Folge haben.

War nun das Material des betriebsfertigen Gefäßes ausgeglüht, so läßt sich der durch das Richten veränderte ursprüngliche Materialzustand durch Ausglühen der Proben vor der Prüfung wohl nahezu wieder herstellen. In den meisten Fällen ist solches Ausglühen indessen nicht zulässig, weil hiermit auch diejenigen Eigenschaften verloren gehen würden, die dem Material in Folge der bei der Herstellung angewendeten Bearbeitungsverfahren innewohnen und die entweder gerade seine Verwendbarkeit ermöglichen oder als fehlerhafte Eigenschaft durch die Prüfung festgestellt werden sollen.

Zu dem Einfluß des Richtens tritt häufig noch der Umstand hinzu, daß die ursprünglichen Materialeigenschaften zu ermitteln sind, nachdem das Gefäß entweder im Betriebe oder bei voraufgegangener Prüfung auf inneren Druck zersprengt oder doch so hoch belastet war, daß die Wandungen bereits bleibende Formänderungen erlitten haben.

Aus älteren Untersuchungen ist bekannt, daß die Elasticitätsgrenze des Eisens durch Dehnen erhöht wird und wie Bauschinger berichtet[1]), wurde diese Thatsache schon im Jahre 1854 von L. Werder praktisch ausgenutzt, indem er beim Bau des Münchener Glaspalastes die Zugstangen zum Dachstuhle vor dem Einbauen dehnte. Später wurde das Verfahren des Kaltstreckens von Uchatius angewendet, der bei Herstellung bronzener Geschützrohre deren Festigkeit durch Aufdornen erhöhte[2]).

Eingehende Untersuchungen über den Einfluß des Dehnens im kalten Zustande liegen vor von Bauschinger[3]). Ihre Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

---

[1]) Dingl. polyt. Journal 1877, Bd. 224, S. 1.

[2]) Desgl. 1875, Bd. 217, S. 122.

[3]) Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Kgl. technischen Hochschule München, Heft 13. 1886.

1. Die Proportionalitätsgrenze wird durch Dehnen mit Belaſtungen, die über der Proportionalitätsgrenze aber noch unter der Streckgrenze liegen, ſofort erhöht und zwar umſomehr, je höher die voraufgegangene Belaſtung war. Ueberſchreitet letztere die Streckgrenze, ſo wird die P-Grenze herabgeworfen, oft bis auf Null. Bei ſofortiger Wiederholung des Verſuches iſt dann entweder gar keine P-Grenze vorhanden oder ſie liegt bedeutend niedriger als urſprünglich. Bleibt der Stab aber nach dem Dehnen längere Zeit entlaſtet, ſo hebt ſich die P-Grenze wieder und zwar ſchließlich bis über die voraufgegangene Belaſtung hinaus. Dieſe Erhebung ſcheint nur ſehr langſam vor ſich zu gehen, wenn die erſtmalige Belaſtung nahe der Bruchgrenze lag.

2. Die Streckgrenze wird ſofort bis zu der Belaſtung hinaufgehoben, mit welcher geſtreckt wurde. Mit der Zeit der Ruhe zwiſchen der erſten und der zweiten Belaſtung erhebt ſich die Streckgrenze über die voraufgegangene Belaſtung hinaus.

3. Der Elaſticitätsmodul wird durch Strecken erniedrigt. Mit der Zeit hebt er ſich ebenfalls wieder, wahrſcheinlich aber langſamer als die P-Grenze.

4. Durch heftiges Erſchüttern ohne Formänderung wird die durch Dehnen heruntergeworfene Proportionalitätsgrenze bis auf den urſprünglichen Werth wieder gehoben; die gehobene Streckgrenze wird erniedrigt. Sie bleibt aber noch weit über der Höhe, die ſie urſprünglich hatte.

5. Erwärmen und langſames Abkühlen erniedrigt die P-Grenze und in geringerem Grade auch die Streckgrenze.

6. Die P-Grenze für Druck wird durch Dehnen und diejenige für Zug durch voraufgegangene Druckbelaſtung ſofort heruntergeworfen und zwar umſomehr, je weiter die P-Grenze bei der erſtmaligen Belaſtung im entgegengeſetzten Sinne überſchritten wurde. Die Zeit der Ruhe zwiſchen beiden Belaſtungen bleibt hierbei ohne weſentlichen Einfluß.

Nach Einleitung[1]) der im Nachſtehenden zu beſprechenden Unterſuchungen ſind mir ferner noch folgende einſchlägige Arbeiten bekannt geworden.

Nach Verſuchen von Ewing[2]) iſt es für die Rückkehr der durch Dehnen heruntergeworfenen Proportionalitätsgrenze gleichgültig, ob der Stab während der Ruhezeit entlaſtet iſt oder belaſtet bleibt, ebenſo wird die Rückkehr durch Erſchüttern und Magnetiſiren nicht beeinflußt, wohl aber durch ſchwaches Erwärmen beſchleunigt.

Wie Ledebur mittheilt, wird auch die durch Kaltbearbeitung bereits gehobene P-Grenze bei Stahl noch weiter gehoben, wenn das Material auf 150—350 C° erhitzt wird[3]).

Charpy[4]) fand für daſſelbe Material bei Zugverſuchen mit ausgeglühten Stäben ausgeprägtes Strecken, während kalt bearbeitete Stäbe kein Strecken zeigten. Zug- und Druckproben, aus Stäben entnommen, die bis über die Streckgrenze hinaus belaſtet worden waren, zeigten bei Prüfung im ungeglühten Zuſtande ebenfalls kein Strecken, wohl aber nach dem Ausglühen.

Unwin[5]) belaſtete Stäbe aus weichem Stahl (mild steel) und Schmiedeeiſen wiederholt

[1]) Den Arbeitsplan ſtellte ich bereits im Jahre 1894 auf. Die Verſuche wurden Anfang 1895 begonnen.

[2]) The Engineer 1899, S. 420.

[3]) „Die Vorgänge beim Härten des Stahles.“ Stahl und Eiſen 1895, II, S. 947. — Howe, Metallurgy of Steel, S. 214 und 219.

[4]) Stahl und Eiſen 1895, I, S. 459 und II 745.

[5]) „On the Yield point of iron and steel and the effect of repeated straining and annealing.“ Proc. of the Royal Soc. Vol. 57, S. 178.

(fünf bis acht mal) bis über die Streckgrenze, nachdem die Stäbe vor jeder neuen Belastung immer wieder bei dunkler Rothgluth ausgeglüht waren. Die Spannung an der Streckgrenze, bezogen auf den durch das Dehnen geschwächten Querschnitt, wurde stets annähernd gleich groß gefunden und der Verlauf der Schaulinie für die Beziehungen zwischen Spannung und Dehnung bis zum Bruch war bei der letzten Reihe der gleiche wie für das Material im ursprünglichen Zustande. Wurden die Stäbe vor der wiederholten Belastung nicht ausgeglüht, so konnte die ursprünglich scharf ausgeprägte Streckgrenze bei der wiederholten Belastung nicht mehr wahrgenommen werden; die Schaulinie verlief ähnlich wie bei dem aus Rothgluth in Wasser abgeschreckten Material.

Hiernach wurde also die durch das Kaltstrecken verursachte Materialveränderung durch das Ausglühen jedesmal wieder beseitigt.

Bach[1]) stellte bei seinen Untersuchungen über die Formänderungen „flacher durch Anker oder Stehbolzen unterstützter Kesselwandungen" vergleichende Versuche an mit dem Ankermaterial im Anlieferungszustande und nachdem es in dem belasteten Kessel gedehnt war. Er fand hierbei:

für das Material:	Zugfestigkeit kg/qmm,	Bruchdehnung °/₀;
ungestreckt (u):	34,9	18,9
gestreckt (g):	38,6	11,7
Verhältniß $\frac{g}{u} \cdot 100\,\%$:	110	62

Durch das Strecken hatte also die Zugfestigkeit um 10 % zugenommen; die Dehnung um 38 % abgenommen.

Von demselben Verfasser liegen auch einige Versuche über den Einfluß des kalten Biegens und Richtens vor. Die Proben wurden Kesselböden entnommen, die bei Beanspruchung des Kessels durch inneren Druck ausgebeult und vor der Bearbeitung kalt gerade gerichtet waren. Ihre Ergebnisse sind mit denen für das gleiche Material im Anlieferungszustande, also ungebogen, in Vergleich gestellt. Die Versuche ergaben:

für das Material:	Streckgrenze[2]) kg/qmm;	Zugfestigkeit kg/qmm;	Dehnung °/₀
ungebogen (u):	18,0	35,4	21,2
gebogen und gerichtet (g):	26,0	43,5	17,9
Verhältniß $\frac{g}{u} \cdot 100\,\%$:	144	123	84

Hiernach waren durch das kalte Biegen und Richten die Streckgrenze und Zugfestigkeit gehoben und die Dehnung vermindert.

Martens[3]) ließ 5 Rundstäbe von 20 mm Durchmesser aus der gleichen Stange Flußeisen zunächst bis zur Höchstspannung (σ_B) und hierauf nach verschieden langer Ruhepause wieder bis zum eintretenden Strecken belasten. Aus dem Verlauf der aneinander gereihten Schaulinien, die von der Maschine selbstthätig aufgezeichnet waren, folgert Martens in Bestätigung der vorstehend unter 2 genannten Beobachtungen von Bauschinger, daß die Streckgrenze bei sofortiger Wiederholung des Versuches und nach 1 Tage Ruhepause fast auf die Größe der voraufgegangenen Anspannung gehoben wurde und die Schaulinien aus den

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, S. 347.

[2]) Belastung beim „Beginn der bleibenden Dehnung."

[3]) Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau, S. 312. Berlin 1898. Springer.

Wiederholungsversuchen ganz gut an den allgemeinen Verlauf der ersten Schaulinie, wie sie ohne Entlastung gewonnen worden wäre, sich anschlossen. Nach 1 Woche und noch mehr nach längeren Ruhepausen lag die Streckgrenze höher als die voraufgegangene Anspannung. Die Schaulinien fielen aber nach Erreichung der neuen Streckgrenze sofort ab.

Bauschinger[1]) schließt aus seinen Versuchen: „Das Geraderichten eines Stabes durch Drücken und Biegen im Schraubstock scheint eine gehobene Elasticitätsgrenze sehr wirksam zu erniedrigen oder ihre Erhebung nach dem Strecken sehr wirksam zu verhindern." —

Die Ergebnisse der besprochenen Versuche lassen sich dahin zusammenfassen, daß im kalten Zustande bewirkte Formänderungen die Eigenschaften des Materials verändern und daß der Grad und die Art dieser Materialveränderung von der Größe und der Richtung der Formänderung zu der späteren Belastungsrichtung abhängig ist. Ueber den Einfluß des Richtens auf die Zugfestigkeit des Materials geben sie keinen unmittelbaren Aufschluß.

Vorausgesetzt, daß die dem Festigkeitsversuch vorausgegangenen Formänderungen durch Strecken und Richten keine anderen Aenderungen an den Grundeigenschaften (Cohäsion der einzelnen Massentheilchen und Formbarkeit oder gar der chemischen Konstitution) des Materials zur Folge haben, als während des ohne Unterbrechung durchgeführten Zerreißversuches entstehen, so müßte für den Probestab mit dem ursprünglichen Querschnitt F die Bruchlast P erhalten werden, gleichviel ob man den Stab nach einer bestimmten Streckung λ entlastete und die Belastung dann erst nach längerer Pause bis zum Bruch steigerte, oder ob man den Bruch ohne Unterbrechung der Belastung herbeiführte. In beiden Fällen würde sich die Bruchspannung, bezogen auf die Einheit des ursprünglichen Querschnittes F, ergeben gleich

$$\frac{P}{F} = \sigma.$$

War der Querschnitt f des Stabes nach der Vorstreckung um λ ermittelt und berechnet man nun die Bruchspannung σ_1 aus diesem verjüngten Querschnitt und der als gleichbleibend vorausgesetzten Bruchlast P, so ergiebt sich

$$\sigma_1 = \frac{P}{f}^2).$$

Die Spannung σ_1 ist größer als σ. Der Unterschied zwischen beiden Werthen besteht aber, wenn obige Voraussetzung zutrifft, also die Bruchlast konstant bleibt, nur darin, daß der Berechnung verschiedene Werthe für den Querschnitt zu Grunde gelegt wurden.

Da nun das Volumen des Stabes sich beim Strecken des Stabes unter Zugbelastung nicht ändert, so könnte man ferner aus der durch den Versuch ermittelten Bruchspannung σ_1 des vor der Probeentnahme vorgestreckten Stabes und aus dem Maße λ der voraufgegangenen Streckung die Bruchspannung σ für den ursprünglichen Zustand des Materials wie folgt berechnen.

Nach Vorstehendem war:

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ und } \sigma_1 = \frac{P}{f}$$

---

[1]) Mittheilungen, Heft 13, S. 20.

[2]) Falls die Erschütterung und Erwärmung bei der Bearbeitung keinen Einfluß ausüben, so muß es für die Größe von σ_1 gleichgültig sein, ob man den Versuch nach Ermittelung von f mit demselben Stabe fortsetzt oder ob man aus dem vorgestreckten Stabe einen neuen von geringerem Querschnitt herausarbeitet, da sich dann in gleichem Verhältniß mit dem Querschnitt auch die Bruchlast P ändert.

folglich ist

$$\sigma = \sigma_1 \frac{f}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I.}$$

Ferner ist, wenn L die Länge des Stabes mit dem Querschnitt F vor der Streckung um λ bedeutet, der Rauminhalt

$$i = F \cdot L = f(L + \lambda).$$

Hieraus ergiebt sich

$$F = \frac{f(L + \lambda)}{L} \quad \ldots\ldots\ldots \text{II.}$$

Setzt man diesen Werth für F in Gleichung I ein, so erhält man

$$\sigma = \sigma_1 \frac{L}{L + \lambda}$$

und wenn λ in % von L gegeben ist,

$$\sigma = \sigma_1 \frac{100}{100 + \lambda} = \sigma_2 \quad \ldots\ldots\ldots \text{III.}$$

Um nun die Zulässigkeit dieser Berechnung, d. h. ihre Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit und somit auch die Richtigkeit der ihr zu Grunde liegenden Voraussetzung zu prüfen, ließ ich aus den Bruchstücken von 4 Flachstäben, die älteren Zerreißversuchen entstammten, je einen kleineren Flachstab kalt herausschneiden und an ihnen die Festigkeit des Materials von Neuem ermitteln [1]).

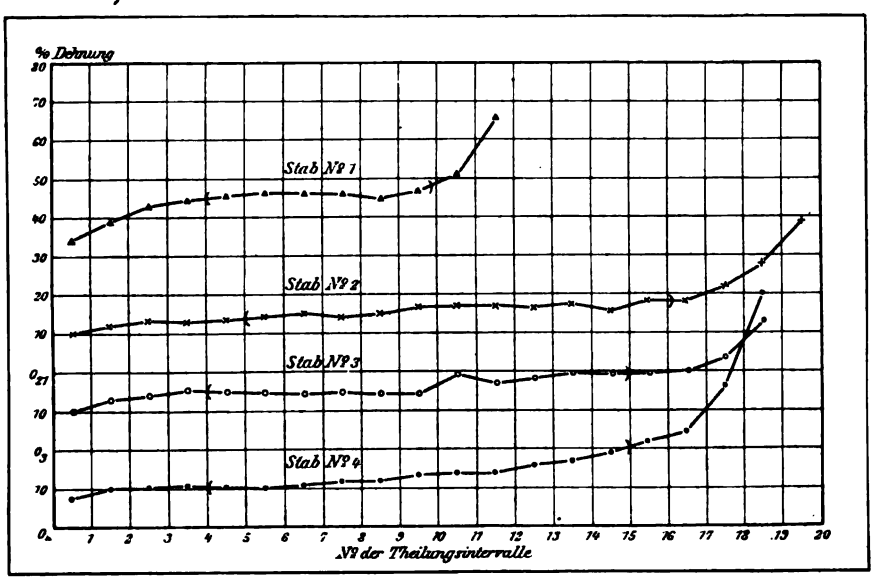


Fig. 1. Dehnung innerhalb der einzelnen Theilungsintervalle bei der erstmaligen Prüfung.

Zur erstmaligen Prüfung waren die 4 Stäbe auf beiden Schmalseiten mit Centimetertheilung versehen worden. An ihr wurde durch Ausmessen der einzelnen Theilungsintervalle zunächst festgestellt, wie die Streckung bei der erstmaligen Prüfung sich über die Stablänge vertheilt hatte. Die Messungs-Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt und in Fig. 1 durch

[1]) Die beiden Versuche mit dem Stabe 1 wurden am 9. December 1893 und 23. Oktober 1894 angestellt, während die Stäbe 2—4 zum ersten Mal im Februar 1893 und zum zweiten Mal am 22. Oktober 1894 geprüft wurden. Die Dauer zwischen den beiden Prüfungen betrug somit 10 bezw. 20 Monate.

Tabelle 1. Dehnung innerhalb der einzelnen Theilungsintervalle bei der erstmaligen Prüfung.

Die Messungen sind stets am Kopfende der Stäbe begonnen.

Stab Nr.	1 (5497 · 5)			2 (3912 · 16 A 3)			3 (3912 · 20 A 3)			4 (3912 · 28 A 3)		
Material	Kupfer			Thomaßflußeisen — Schienenfuß								
Nr. des Theilungsintervalls	Gesammtlängen der Intervalle mm		Mittlere Dehnung f. d. Intervall	Gesammtlängen der Intervalle mm		Mittlere Dehnung f. d. Intervall	Gesammtlängen der Intervalle mm		Mittlere Dehnung f. d. Intervall	Gesammtlängen der Intervalle mm		Mittlere Dehnung f. d. Intervall
	rechts	links	%	rechts	links	%	rechts	links	%	rechts	links	%
1	13,6	13,3	34,5	11,1	10,9	10,0	11,0	11,1	10,5	10,7	10,8	7,5
2	27,5	27,2	39,0	22,3	22,1	12,0	22,3	22,4	13,0	21,7	21,8	10,0
3	41,8	41,5	43,0	33,7	33,4	13,5	33,6	33,9	14,0	32,7	32,9	10,5
4	56,3	55,9	44,5	45,0	44,7	13,0	45,2	45,4	15,5	43,8	44,0	11,0
5	70,8	70,5	45,5	56,4	56,0	13,5	56,7	56,9	15,0	54,8	55,1	10,5
6	85,5	85,1	46,5	67,9	67,4	14,5	68,2	68,4	15,0	65,8	66,2	10,5
7	100,1	99,8	46,5	89,3	79,0	15,0	79,5	80,0	14,5	76,9	77,3	11,0
8	114,7	114,4	46,0	90,7	90,5	14,5	90,9	91,6	15,0	88,1	88,5	12,0
9	129,2	128,9	45,0	102,3	101,9	15,0	102,4	103,0	14,5	99,3	99,7	12,0
10	143,9	143,6	47,0	114,0	113,5	17,0	113,9	114,4	14,5	110,6	111,1	13,5
11	159,0	158,7	51,0	125,7	125,3	17,0	126,0	126,2	19,5	122,0	122,5	14,0
12	175,7	175,2	66,0	137,3	137,1	17,0	137,7	137,9	17,0	133,4	133,9	14,0
13	—	—	—	149,0	148,7	16,5	149,6	149,7	18,5	145,0	145,5	16,0
14	—	—	—	160,7	160,5	17,5	161,6	161,6	19,5	156,7	157,2	17,0
15	—	—	—	172,4	171,9	15,5	173,5	173,6	19,5	168,6	169,1	19,0
16	—	—	—	184,3	183,7	18,5	185,4	185,5	19,5	180,9	181,2	22,0
17	—	—	—	196,2	195,5	18,5	197,4	197,6	20,0	193,4	193,6	24,5
18	—	—	—	208,5	207,6	22,0	209,8	209,9	23,5	207,0	207,3	36,5
19	—	—	—	221,3	220,4	28,0	223,1	223,2	33,0	223,0	223,3	60,0
20	—	—	—	235,1	234,4	39,0	—	—	—	—	—	—

Schaulinien dargestellt, indem die Abscisse entsprechend den Theilungsintervallen in gleiche Theile getheilt und die für das Intervall ermittelte Dehnung jedesmal in der Mitte der Theilung als Ordinate aufgetragen wurde. Aus dem Verlauf dieser Linien ergab sich, daß die Dehnung innerhalb der ersten Theilungsintervalle durch die stärkeren Stabköpfe beeinträchtigt worden war. Es stand zu erwarten, daß die Festigkeit des Materials innerhalb dieses bei der erstmaligen Prüfung weniger gestreckten Theiles geringer sei als in dem anschließenden nahezu gleichmäßig gestreckten Theil. Um nun dem möglich vorzubeugen, daß die neu zu entnehmenden Stäbe außerhalb der Versuchslänge rissen, ließ ich sie so herausschneiden, daß auch die Uebergänge zu den breiteren Stabköpfen noch in den gleichmäßig gestreckten Stabtheil hineinfielen. Die Länge der neuen Stäbe wurde ferner so bemessen, daß die nach rechts gelegene Endmarke der Meßlänge nicht in dem Bereich der rein örtlichen Einschnürung aus der erstmaligen Prüfung zu liegen kam[1]). Die Abmessungen der hierbei erhaltenen Stäbe sind aus Fig. 2 und 3 zu ersehen; und zwar stellt Fig. 2 den Stab 1, Fig. 3 die Stäbe 2—4 dar.

Die Versuchsergebnisse aus der erstmaligen und zweiten Prüfung sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die beiden untersten Reihen dieser Tabelle geben die nach der obigen

[1]) In Fig. 1 geben die ( ) die Begrenzungen der neuen Meßlängen an.

Tabelle 2. Zugversuche mit Proben aus bereits einmal zerrissenen Stäben.

Nummer des Stabes		1	2	3	4
Material		Kupfer	Thomasflußeisen—Schienenfuß		
Ergebnisse der ersten Prüfung	Streckgrenze kg/qmm	6,2	28,8	31,9	31,4
	Bruchspannung kq/qmm (σ)	21,2	59,4	63,2	58,7
	Bruchdehnung auf je 100 mm vom Bruch %	50,0	20,8	23,3	23,6
	Dehnung λ auf 10 mm umfassend die Bruchstelle bei der zweiten Prüfung %	45,5	15,0	15,0	10,5
Ergebnisse der zweiten Prüfung	Bruchspannung kg/qmm (σ_1)	32,2	76,4	84,2	68,0
	Nach der Gleichung $\sigma_2 = \sigma \cdot \frac{100+\lambda}{100}$ berechnete Spannung	30,9	68,8	72,7	64,9
	Verhältniß $\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ %	104,2	111,8	115,8	104,8

Gleichung III beim zweiten Versuch erwartete Bruchspannung und das Verhältniß der letzteren zu der beim zweiten Versuch thatsächlich ermittelten.

Die wirkliche Bruchfestigkeit des Materials ist hiernach um 4 bis 16 % größer gefunden als die berechnete.

Die Unterschiede sind zu groß, als daß man sie auf Ungleichmäßigkeiten des Materials im ursprünglichen Zustande zurückführen könnte; ich glaubte vielmehr mit Recht aus ihnen schließen zu dürfen, daß die Erhöhung der Bruchfestigkeit des Materials durch Strecken größer

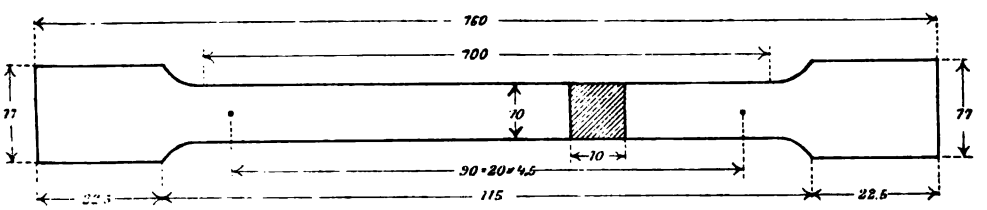


Fig. 2.

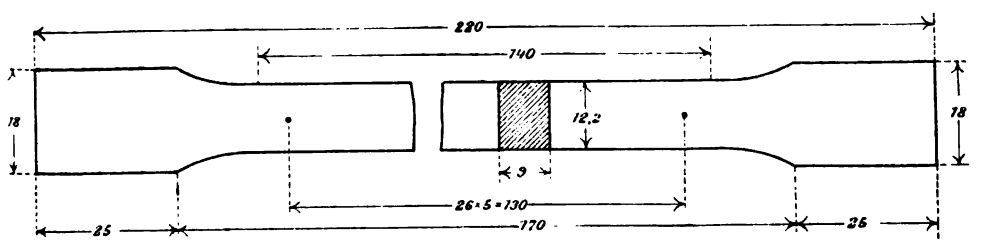


Fig. 3.

ist als nach der Berechnung erwartet werden mußte. Dies beweist dann, daß die Voraussetzung, die der Berechnung zu Grunde gelegt wurde, nicht zutrifft, sondern daß mit dem Strecken des Stabes auch Aenderungen der Grundeigenschaften des Materials verbunden sind und daß diese Aenderungen nicht in gleichem Maße hervortreten, wenn man den Stab ohne Unterbrechung bis zum Bruch oder der höchsten Tragfähigkeit belastet, als wenn man ihn nach einer gewissen Streckung zunächst der Ruhe überläßt, bevor die Belastung bis zum Bruch weiter geführt wird.

Nun sind aber mit dem Geraderichten gekrümmter Stäbe vor dem Versuch ebenfalls bleibende Formänderungen (Streckungen und Stauchungen) verbunden. Man wird daher erwarten müssen, daß Versuche mit gerichteten Stäben keine zutreffenden Werthe für die ursprünglichen Festigkeitseigenschaften des Materials liefern.

Um die Abhängigkeit der durch Strecken sowie durch Biegen und Richten veranlaßten Materialveränderungen von der Größe der sie veranlassenden Formänderungen sowie von der Zeitdauer, welche zwischen den letzteren und der Bestimmung der neuen Eigenschaften liegt, zu ermitteln, wurden die im Nachstehenden besprochenen Versuche angestellt.

A. Einfluß der bei Lufttwärme erzeugten Formänderungen.

I. Der Arbeitsplan.

1. Versuche über den Einfluß des Streckens mittelst Zugbelastung.

Für diese Versuche sind einem und demselben Blech 38 Flachstäbe von den in Fig. 4 dargestellten Abmessungen entnommen. Von ihnen wurden dann zunächst geprüft:

die Stäbe: 1, 9, 17 — ohne Entlastung bis zum Bruch [1])
2, 10, 18, 25, 32 bis zur Streckgrenze
3, 11, 19, 26, 33 bis zu etwa 2 % Dehnung
4, 12, 20, 27, 34 „ „ „ 5 % „
5, 13, 21, 28, 35 „ „ „ 10 % „
6, 14, 22, 29, 36 „ „ „ 14 % „
7, 15, 23, 30, 37 „ „ „ 18 % [2]) „
8, 16, 24, 31, 38 „ zum Beginn der Einschnürung.

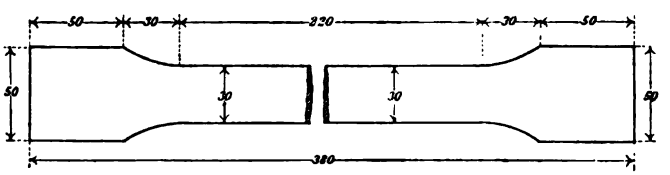


Fig. 4.

Alle Versuche sind unter Bestimmung der Proportionalitäts- (P) und Streckgrenze (S) ausgeführt.

Für die Reihenfolge der Versuche galt folgende Vorschrift:

a) Zunächst sind die Stäbe 1, 9 und 17 zu prüfen, um die Eigenschaften des Materials im Anlieferungszustande kennen zu lernen.

b) In zweiter Reihe sind die Stäbe 2—8 zu prüfen, und zwar zunächst ohne Entlastung bis zu der oben vorgeschriebenen Dehnung. Dann ist zu entlasten und nun der Versuch unter nochmaliger Beobachtung von P und S d. h. nach erneutem Ansetzen der Apparate für die Dehnungsmessung ohne Unterbrechung bis zum Bruch des Stabes fortzusetzen.

[1]) Die Stäbe sind in der Reihenfolge, wie sie in dem Probeblech nebeneinander gelegen haben, mit laufenden Nummern versehen (s. Fig. 7).

[2]) Vorausgesetzt, daß das Material bis zu 18% gleichmäßig über die ganze Länge vertheilte Dehnung hergiebt.

c) In dritter Reihe sind die Stäbe 10—16 ohne Entlastung bis zu der oben vorgeschriebenen Dehnung zu prüfen, dann zu entlasten, aus der Maschine herauszunehmen und schließlich erst nach 24 Stunden Pause unter nochmaliger Beobachtung von P und S zu zerreißen.

d) In vierter Reihe sind die Stäbe 18—24 wie unter c aber nach einer Ruhepause von 7 Tagen zu prüfen.

e) und f) Die Dauer der Ruhepausen bis zur zweiten Belastung wie unter c für die Stäbe 25—38 soll nach dem Ausfall der voraufgegangenen Versuche bestimmt werden. — Sie wurde später auf 21 und 63 Tage festgesetzt.

2. Versuche über den Einfluß des Biegens und Richtens.

Der Einfluß des Richtens kann für sich nur dann ermittelt werden, wenn die Eigenschaften des Materials im gebogenen Stabe bekannt sind. Diese Eigenschaften stimmen aber mit denjenigen für den Anlieferungszustand des Materials nicht mehr überein, weil sie schon durch das Biegen des im Anlieferungszustande geraden Stabes beeinträchtigt wurden. Man wird daher, um den Einfluß des Biegens auf das Endergebniß auszuscheiden und nur den Einfluß des Richtens festzustellen, die Proben nach dem Biegen zunächst auszuglühen, dann kalt zu richten und nun die erhaltenen Ergebnisse mit den Eigenschaften der ausgeglühten aber nicht gebogenen Proben[1]) zu vergleichen haben.

Hierbei ist angenommen, daß der Einfluß des Biegens durch das nachfolgende Ausglühen vollständig wieder verschwindet. Um sich hiervon zu überzeugen, war eine Nebenuntersuchung auszuführen mit Proben, welche kalt gebogen, kalt gerichtet und dann wieder ausgeglüht wurden. Die mit den so behandelten Proben erhaltenen Ergebnisse mußten, wenn die obige Annahme gerechtfertigt ist, mit den Ergebnissen für das ausgeglühte Material übereinstimmen.

Nebenbei sollte außerdem der summarische Einfluß des Biegens und Richtens festgestellt werden. Hierzu waren die Proben kalt zu biegen, kalt zu richten, ohne Ausglühen zu prüfen und ihre Ergebnisse dann mit denen für das Material im Anlieferungszustande zu vergleichen.

Hiernach ergaben sich für die Versuche über den Einfluß des Biegens und Richtens folgende einzelne Reihen:

a) Prüfung des ausgeglühten Materials;
b) Prüfung von kalt gebogenen, ausgeglühten und kalt gerichteten Proben;
c) Prüfung von kalt gebogenen, kalt gerichteten und geglühten Proben;
d) Prüfung von kalt gebogenen und kalt gerichteten Proben.

Für die Reihe b wurden 4 verschiedene Biegungen nach den Halbmessern r_1, r_2, r_3 und r_4[2]) für die Reihen c und d je 2 verschiedene Biegungen nach den Halbmessern r_1 und r_4 vorgesehen, sodaß insgesammt 9 verschiedene Reihen auszuführen waren. Für jede derselben sind 3 Proben aus demselben Blech entnommen, wie die Proben zu den Versuchen für Absatz 1 (s. Fig. 4 und 7) und zwar zu den einzelnen Reihen wie folgt:

---

[1]) Der Zustand des Materials, welcher diesen letztgenannten Proben entspricht, wird der Kürze wegen in Zukunft mit „ausgeglüht" bezeichnet werden.

[2]) Die Größe von $r_1 - r_4$ wurde bei Herrichtung der Proben zu 500, 300, 200 u. 180 mm gewählt.

zu a) 3 Proben Nr. 39, 48, 57,
„ b) 12 Proben, von ihnen wurden gebogen
nach dem Halbmesser r_1 Nr. 40, 49, 58
„ „ „ r_2 „ 41, 50, 59
„ „ „ r_3 „ 42, 51, 60
„ „ „ r_4 „ 43, 52, 61
zu c) 6 Proben, hiervon gebogen
nach dem Halbmesser r_1 Nr. 44, 53, 62
„ „ „ r_4 „ 45, 54, 63
zu d) 6 Proben, hiervon gebogen
nach dem Halbmesser r_1 Nr. 46, 55, 64
„ „ „ r_4 „ 47, 56, 65

Die Längen-Aenderungen, welche durch das Biegen und durch das Richten verursacht wurden, sind mit Hülfe eines dünnen Stahlbandmaßes auf beiden Breitseiten festgestellt worden.

3. Versuche mit Proben, welche aus Streifen, die in verschiedenem Grade durch Zugbelastung gestreckt sind, theils in der Richtung des Vor-Streckens, theils senkrecht zu dieser von Neuem entnommen wurden.

Für diese Versuche sind zunächst aus dem Blech breitere Streifen längs und quer zur Walzrichtung entnommen, durch Zugbelastung um ein Bestimmtes vorgestreckt und dann sind aus ihnen die Proben für die bis zum Bruch durchzuführenden Festigkeitsversuche kalt herausgeschnitten. Die Form dieser letztgenannten Proben ist in Fig. 5 gegeben.

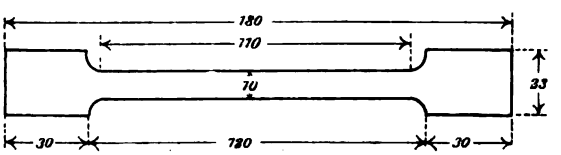


Fig. 5.

Um die für das gestreckte Material erhaltenen Festigkeitseigenschaften mit den Eigenschaften im Anlieferungszustande vergleichen zu können, sind letztere nochmals an je 3 Längs- und Querproben von den in Fig. 5 gegebenen Abmessungen festgestellt, da die in Reihe 1 ermittelten Eigenschaften für den Anlieferungszustand wegen der abweichenden Stabform zu dem unter 3 beabsichtigten Vergleich nicht herangezogen werden konnten.

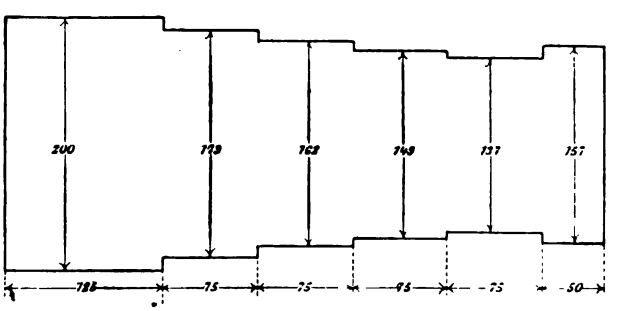


Fig. 6.

Die Streckungen sind bis zu 5 verschiedenen Graden ausgeführt und zwar zur späteren Entnahme der längs-vorgestreckten[1]) Proben an je 5 einzelnen Längs- und Querstreifen. Aus jedem dieser Streifen sind dann 2 Zerreißproben nebeneinander entnommen.

Zur Erlangung der „quervorgestreckten" Proben dienten zwei Streifen von 200 mm Breite und 475 mm Länge, von denen der eine längs und der andere

[1]) „längs-vorgestreckt" sind die in der Richtung der Vor-Streckung entnommenen Proben. Die Proben, welche senkrecht zur späteren Belastungsrichtung vorgestreckt wurden, sind mit „quervorgestreckt" benannt.

quer zur Walzrichtung aus dem Blech entnommen war. Sie waren nach Fig. 6 derart bemessen, daß bei Belastung des ganzen Streifens die gewünschten Spannungen in den einzelnen Theilen erreicht wurden. Aus jedem Theil sind dann nach erfolgter Streckung des ganzen Stabes 3 kleine Proben in der Querrichtung entnommen.

Erforderlich waren demnach:

a) zur Feststellung der Eigenschaften im Anlieferungszustande:
   3 Längsstreifen von 23 mm Breite und 180 mm Länge: Nr. 66, 72, 73,
   3 Querstreifen von 23 mm Breite und 180 mm Länge: Nr. 74, 75, 76,

b) zur Längsstreckung:
   5 Längsstreifen von 76 mm Breite und etwa 320 mm Länge: Nr. 67, 68, 69, 70, 71,
   5 Querstreifen von 76 mm Breite und etwa 320 mm Länge: Nr. 77, 78, 79, 80, 81,

c) zur Querstreckung:
   1 Längsstreifen von 200 mm Breite und 475 mm Länge: Nr. 83,
   1 Querstreifen von 200 mm Breite und 475 mm Länge: Nr. 82.

Um die beim Strecken eintretenden Querschnittsverminderungen möglichst scharf ermitteln zu können und die Dehnungen möglichst gleichmäßig über die ganze Stablänge vertheilt zu erhalten, sind sämmtliche Streifen vor dem Strecken auf beiden Flachseiten gleichmäßig behobelt bis auf eine Dicke von 10 mm. Damit nun diese Bearbeitung bei allen Streifen möglichst gleichmäßig wurde, sind dem Blech zunächst größere Abschnitte entnommen und die einzelnen Proben aus ihnen erst nach dem Behobeln herausgeschnitten.

II. Das Probematerial und die Versuchsausführung.

Als Probematerial hatte die Aktien-Gesellschaft Peiner Walzwerke zu Peine der Versuchsanstalt 2 Bleche von 13 mm Dicke, 1000 mm Breite und 2500 mm Länge unentgeltlich zur Verfügung gestellt[1]). Sie bestanden aus Material von verschiedenem Härtegrad. Zur Untersuchung ist zunächst nur das von dem Werk als weich bezeichnete Blech herangezogen, weil ich annahm, daß sich die zu untersuchenden Einflüsse bei dem weicheren Material in stärkerem Grade äußern würden als bei dem härteren.

Das Zerlegen des Bleches erfolgte nach dem Plan Fig. 7 auf der Hobelmaschine, nachdem die Schnittlinien angerissen und die Stabnummern vorher eingeschlagen waren.

Die einzelnen Proben wurden an den Schmalseiten satzweise bearbeitet, in der Regel durch Fräsen, bei einigen durch Hobeln.

Die Breitseiten wurden nur bei den Proben zu Reihe 3 bearbeitet.

1. Versuche über den Einfluß des Streckens durch wiederholte Prüfung desselben Stabes.

Die in der Walzrichtung (s. Fig. 7) aus dem Blech entnommenen und nach Fig. 4 bearbeiteten Stäbe 1—38 wurden auf den beiden Schmalseiten innerhalb der Meßlänge von 200 mm mit Centimeter-Theilung versehen; außerdem war die Meßlänge auf der einen Breitseite durch zwei Strichmarken abgegrenzt.

[1]) Es möge nicht unterlassen sein, dem Peiner Walzwerk für die bereitwillige Ueberlassung des Materials auch an dieser Stelle zu danken.

Fig. 7. Plan für die Probenentnahme.

Fig. 8.

Fig. 9.

Die Prüfung der Stäbe erfolgte auf der Werdermaschine und die Einspannung mittelst Keilbeilagen, die auf den Greifflächen mit grobem Feilenhieb versehen waren. Die Stabköpfe waren auf den in Fig. 8 dargestellten Querschnitt bearbeitet, sodaß die Einspann-Keile nur im mittleren Theil innerhalb einer Breite zur Anlage kamen, welche geringer war als die Breite des prismatischen Stabtheiles. Hierdurch wurde gute centrische Beanspruchung der Stäbe erreicht, die sich darin zu erkennen gab, daß die Dehnungen auf beiden Schmalseiten in befriedigender Weise übereinstimmten.

Die Messung dieser Dehnung erfolgte bis zum Fließen auf 150 mm Länge mit Hülfe Martens'scher Spiegelapparate auf 0,0001 mm, und nach Ueberschreitung der Streckgrenze mit 0,1 % Genauigkeit mittelst Anlegemaßstabes an der auf der einen Breitseite abgegrenzten Meßlänge von 200 mm. Sobald die letztgenannte Messung die für das Vorstrecken vorgeschriebene Dehnung ergab, wurde die erste Belastungsreihe abgebrochen und der Stab entlastet. An den Stäben 2—8, 10—16 und 18—24 wurde außer der Gesammtdehnung unter der Höchstspannung (σ_{max}) auch die bleibende Dehnung nach dem Entlasten bis auf 1 t Anfangslast und an den Stäben 18—38 schließlich auch die Streckung nach vollständigem Entlasten noch ermittelt.

Bei der zweiten Prüfung der vorgestreckten Stäbe wurden zum Ansetzen der Spiegelapparate neue Meßlängen von 150 mm abgegrenzt, die Messungen mittelst Anlegemaßstabes aber wieder an den ursprünglichen Marken auf der einen Breitseite vorgenommen.

Die Stäbe 10—16 und 18—24 blieben zwischen den beiden Prüfungen ruhig liegen. An den Stäben 25—38 wurde dagegen in der Zwischenzeit durch Ausmessung der einzelnen Theilungsintervalle auf beiden Schmalseiten festgestellt, wie die bei der ersten Prüfung erfolgte Streckung sich über die Meßlänge vertheilt hatte.

2. Versuche über den Einfluß des Biegens und Richtens.

Die im Arbeitsplan vorgesehenen 27 Proben Nr. 39—65 wurden nach Fig. 7 ebenfalls in der Walzrichtung aus dem Blech entnommen.

Das Biegen der 380 mm langen und 50 mm breiten Streifen erfolgte nach Maßgabe von Fig. 9 zwischen zwei Lehren aus hartem Holz unter stetig wachsendem Druck. Die konvexe Druckfläche der oberen Lehre war anfänglich nach dem vorgeschriebenen Biegungshalbmesser (r_1—r_4) gekrümmt, während der Krümmungshalbmesser der konkaven Fläche an der unteren Lehre um die Blechdicke (13 mm) größer war als r. Hierbei zeigte sich, daß die gewünschten Biegungen in Folge Zurückfederns der Proben nicht erreicht werden konnten, die Krümmungshalbmesser der Lehren wurden daher nach und nach verkleinert, bis schließlich die Krümmung der Proben der Vorschrift entsprach. Außerdem wurde aber der Halbmesser der bleibenden Krümmung für jede einzelne Probe festgestellt.

Das Richten der Proben geschah zunächst zwischen zwei Platten unter der Presse und dann, soweit erforderlich, mittelst Kupferhammers.

Das Ausglühen der Probestreifen erfolgte im Flammofen unter Verwendung von Koks als Brennmaterial. Sämmtliche zu dieser Versuchsreihe zu glühenden 21 Stäbe und zwar die geraden Stäbe: 39, 44, 45, 48, 53, 54, 57, 62 und 63, sowie die gebogenen Stäbe: 40—43, 49—52 und 58—61 wurden gleichzeitig in den kalten Ofen eingebracht und mit Chamottesteinen bedeckt. Nach 8stündigem Feuern waren die Proben hellroth glühend.

Die Ofenthüren wurden nun mit Lehm gedichtet und die Proben dann mit dem Ofen vollständig erkalten lassen[1]).

Zur Prüfung auf Festigkeit erhielten sämmtliche Proben wieder die in Fig. 4 angegebenen Abmessungen.

Um die Längenänderungen festzustellen, welche das Biegen und Richten zur Folge hatten, wurden sämmtliche Probestreifen vor dem Biegen auf beiden Breitseiten mit Centimetertheilung versehen. Die Theilung umfaßte 280 mm symmetrisch zur Stabmitte, sodaß also etwa 50 mm an beiden Enden von der Messung ausgeschlossen wurden. Letztere erfolgte mit Hülfe eines dünnen Stahlbandmaßes und erstreckte sich im ursprünglichen Zustande und nach dem Richten der Stäbe auf die gesammte Länge der beiderseitigen Theilungen, während an den gebogenen Stäben die Länge jedes einzelnen Theilungsintervalls gemessen wurde.

3. Versuche über den Einfluß des Streckens an Proben, die aus vorgestreckten Stäben neu herausgeschnitten wurden.

α) Proben in der Richtung der Vorstreckung entnommen. (Längs vorgestreckte Stäbe).

Zum Vorstrecken wurden je 5 Streifen von etwa 61—65 mm Breite und etwa 320 mm Länge in der Walzrichtung (Nr. 67—71) und quer zu dieser (Nr. 77—81) aus den vorher auf 10 mm Dicke beiderseits behobelten Blechabschnitten entnommen (s. Fig. 7) und nach Fig. 10 bearbeitet. Auf beiden Schmalseiten erhielten sie innerhalb des prismatischen Theiles auf 200—230 mm Länge Centimetertheilung.

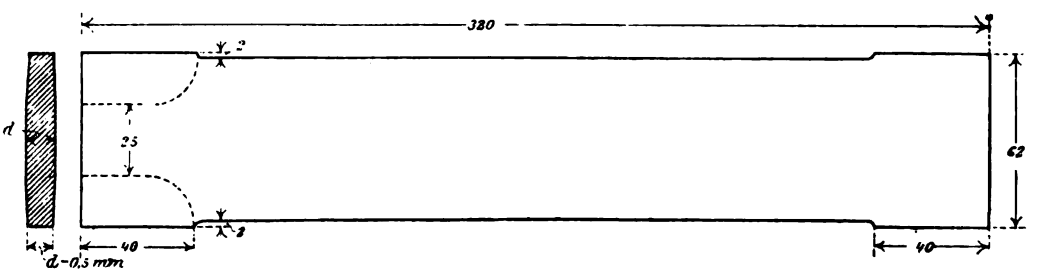


Fig. 10.

Das Vorstrecken der einzelnen Stäbe erfolgte mit den in Tab. 3 angegebenen Spannungen. Hierbei wurden die den letzteren entsprechenden Höchstlasten so lange wirken lassen, bis die Wage der Zerreißmaschine bei gleichbleibender Streckgeschwindigkeit von 1% in der Minute, bezogen auf die prismatische Stablänge, wieder über die Gleichgewichtslage angehoben wurde.

Tabelle 3. **Höchstspannungen beim Vorstrecken der Stäbe.**

Stab Nr.	67	71	68	70	69	77	81	78	80	79
Höchstspannung kg/qmm	26,1	28,8	31,9	35,0	38,0	25,6	29,1	32,1	35,4	38,2

[1]) Wegen des gleichzeitigen Glühens aller Stäbe konnten die beim Glühen etwa eingetretenen chemischen Veränderungen des Probematerials unberücksichtigt gelassen werden.

Nach Entnahme der Stäbe aus der Maschine wurden dann zunächst die Längen der einzelnen Theilungsintervalle auf beiden Schmalseiten ausgemessen, die Breiten- und Dicken-Abmessungen festgestellt und hierauf aus jedem Stabe nach Maßgabe von Fig. 11 zwei Streifen von 23 mm Breite mittelst Kaltsäge herausgeschnitten. Diese Streifen erhielten die Nummer des vorgestreckten Stabes, dem sie entstammten, und ferner das Zeichen a oder b, je nachdem

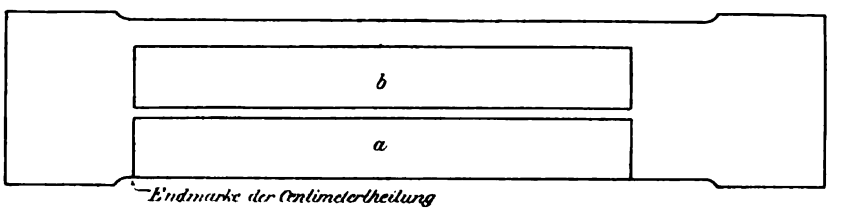


Fig. 11. Entnahme der Probestreifen aus den vorgestreckten Stäben.

sie am Rande oder nach der Mitte zu aus dem gestreckten Stabe entnommen waren. Sie wurden auf die in Fig. 5 angegebenen Abmessungen bearbeitet und zur Einspannung in die Zerreißmaschine auf den Schmalseiten der Köpfe mit Gewinde versehen.

Die Dauer zwischen dem Vorstrecken und der späteren Prüfung schwankte bei den einzelnen Stäben zwischen 30 und 40 Tagen.

β) Proben quer zur Richtung der Vorstreckung entnommen. (Quer vorgestreckte Stäbe).

Die allgemeine Form der beiden zum Vorstrecken verwendeten Stäbe und ihre Abmessungen sind bereits in Fig. 6 (Seite 10) gegeben. Die Breiten der einzelnen Stufen A—E (s. Tab. 14) wurden so bemessen, daß bei beginnender Einschnürung der Stufe E mit geringster

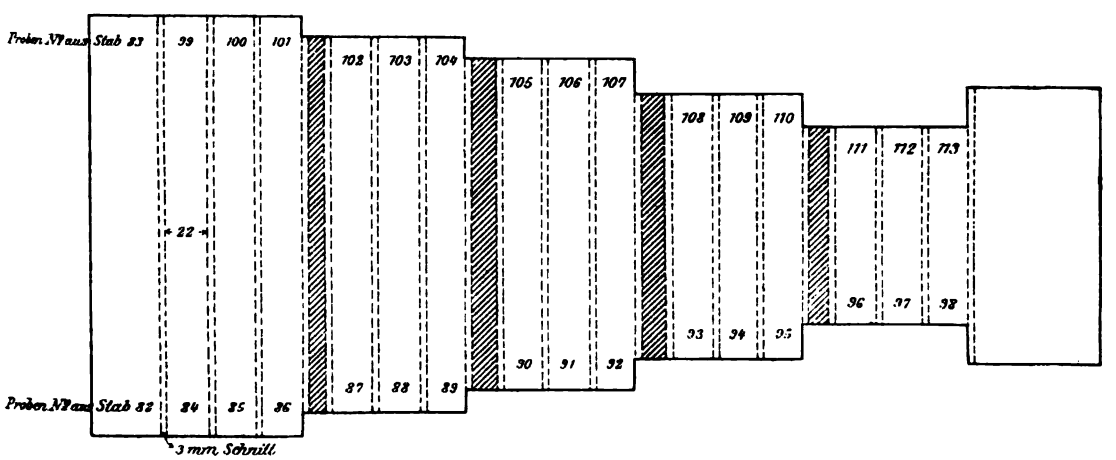


Fig. 12.

Breite unter der Spannung σ_B, die Stufe A größter Breite bis zur Proportionalitätsgrenze (σ_P), B bis zur Streckgrenze (σ_S), C bis zu $\sigma_S + {}^1/_4\,(\sigma_B - \sigma_S)$ und D bis zu $\sigma_S + {}^1/_2\,(\sigma_B - \sigma_S)$ belastet sein sollte. Hierbei wurde σ_B zu 40 kg/qmm und σ_S zu 30 kg/qmm angenommen. Die Oberflächen der Stäbe wurden sauber geschlichtet und dann auf beiden Breitseiten ein feiner Längsriß in der Mitte und ferner leichte Quertheilungen angebracht, welche die Stufen verschiedener Breite abgrenzten. Die beiden etwa 75 mm langen Schmalseiten jeder Stufe

Tabelle 4. **Abmessungen der quer aus den vorgestreckten Stäben 82 und 83 entnommenen Proben.**

Für Stabtheil	Größte erreichbare Längen in mm (s. Fig. 13)					Zulässiger Querschnitt f entsprechend $l = 10\sqrt{f}$	Querschnittsabmessungen der Proben aus Stab			
							82		83	
	B	K_e	L	l	l_t		Breite mm	Dicke mm	Breite mm	Dicke mm
A	198	39	110	100	10	100	10,1	9,9	10,3	9,7
B	176	28	110	100	10	100	10,2	9,8	10,4	9,6
C	158	34	77	70	7	50	5,2	9,7	5,3	9,5
D	144	27	77	70	7	50	5,2	9,6	5,4	9,3
E	132	21	77	70	7	50	5,3	9,5	5,6	9,0

wurden symmetrisch auf 70 mm Länge mit Centimetertheilung versehen. An beiden Theilungen wurde die Dehnung der einzelnen Stufen nach dem Vorstrecken der Stäbe ermittelt.

Die Streckbelastung wurde soweit gesteigert, daß der schwächste Stabtheil gerade örtlich einzuschnüren begann (s. Lichtbilder Fig. 37 u. 39 Taf. I). Die 3 Querstäbe für Zugversuche wurden aus jeder Stufe unmittelbar neben einander entnommen und zwar nach Fig. 12 so, daß der dritte Stab hart neben der nächst kleineren Stufe lag.

Die Abmessungen, welche diesen Zerreißproben gegeben wurden, sind im Vergleich mit Fig. 13 aus Tab. 4 zu ersehen. Sie sind unter Berücksichtigung des Proportionalitäts-Ge-

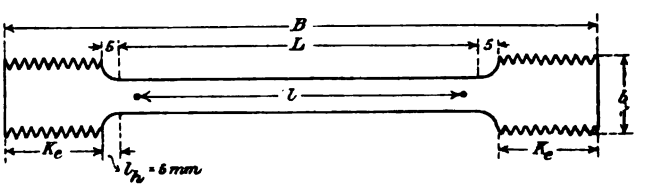


Fig. 13.

setzes[1]) aus der gegebenen Länge (Stufenbreite) und Dicke der Streifen so berechnet, daß die Ergebnisse unmittelbar mit den Werthen für den Anlieferungszustand verglichen werden können, die an Stäben von der Form Fig. 5 ermittelt wurden.

III. Die Versuchsergebnisse.

1. Wiederholte Prüfung derselben Stäbe.

Die Versuchsergebnisse sind in Tab. 5—8 zusammengestellt, hierbei ist unterschieden zwischen den „Eigenschaften des Materials" und den „Eigenschaften der Stäbe".

Die „Eigenschaften des Materials" Tab. 5 u. 8 sind stets aus den Abmessungen berechnet, welche die Proben bei Beginn derjenigen Belastungsreihe hatten, bei der sie ermittelt wurden. Sie sind wieder zu unterscheiden in

a) „ursprüngliche Eigenschaften" d. h. diejenigen, welche das Material im Anlieferungszustande oder nach dem Ausglühen aber ohne voraufgegangene Formänderung durch Belasten hatte (Tab. 5), und in

[1]) Zur Erlangung vergleichbarer Versuchsergebnisse müssen sich die Meßlängen wie die Wurzeln aus den Querschnitten verhalten.

Tabelle 5. **Die Festigkeitseigenschaften des Probematerials im Anlieferungs-Zustande und ausgeglüht.** (Hierzu Schaulinien Fig. 14.)

Stab Nr.	Zustand	Stab-Querschnitt F qmm	Dehnungszahl α mm 10^{-7}	Spannungen kg/qmm: Proportionalitätsgrenze σ_P	Streckgrenze σ_S	Bruch-Spannung σ_B	Bruchdehnung gemessen auf je 50 mm (von der Bruchstelle %)	Bruchdehnung gemessen auf je 100 mm (von der Bruchstelle %)	Entfernung des Bruches von der Endmarke mm
1	Anlieferungszustand	396	—	15,1	25,2	38,5	36,8	28,8	90
9		392	—	[24,2]	26,2	42,7	33,9	27,3	90
17		375	—	18,7	26,0	41,3	39,4	30,5	30
Mittel		—	499[1])	[19,3]	25,8	40,8	36,7	28,9	—
39	Ausgeglüht	404	505	14,9	24,1	37,1	42,3	38,0	40
48		396	—	—	20,2	39,1	34,9	28,8	10
57		403	504	[14,9]	23,6	37,8	39,0	29,7	50
Mittel		—	505	[14,9]	22,8	38,0	38,7	32,2	—
Verhältnißzahlen, die Werthe für das geglühte Material = 100 gesetzt . . .		—	99	129	113	107	92	90	—

b) „Eigenschaften des vorgestreckten Materials", das sind diejenigen, welche das Material in Folge der mit der ersten Belastung verbundenen Formänderungen angenommen hatte (Tab. 8).

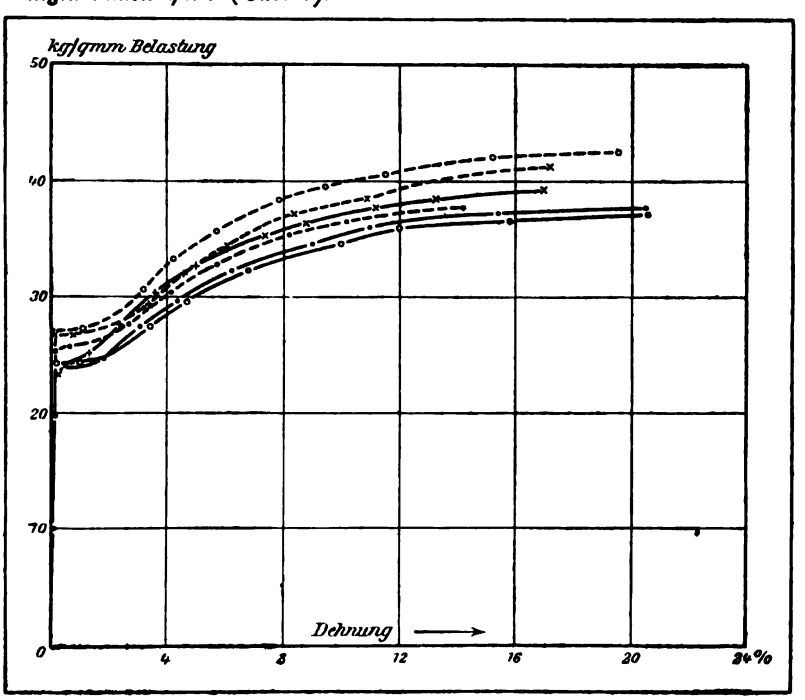


Fig. 14. Schaulinien aus den Zugversuchen mit dem ursprünglichen Material. ——— geglüht, – – – – ungeglüht.

[1]) Mittel aus 38 Versuchen.

Tabelle 6. **Die Festigkeitseigenschaften der Stäbe (sämmtliche Werthe auf nach dem**

Stab Nr.	Quer-schnitt F	Erste Belastungsreihe: Mittlere Dehnung für 1 t Belastung	Elasticitäts-modul $E = 1/\alpha$	Dehnungszahl α	Spannungen kg/qmm: P-Grenze σ_P	S-Grenze σ_S	höchste σ_{max}	Dehnungen: bei σ_{max}	bleibend: bei 1 t	bleibend: n. d. Entlasten	Dauer des Lagern bis zur zweiten Prüfung	Zweite: Mittlere Dehnung für 1 t Belastung	Elasticitäts-modul $E' = 1/\alpha'$	Dehnungszahl α'
	qmm	% · 10^4	kg/qmm	mm · 10^{-3}				%	%	%	Tage	% · 10^4	kg/qmm	mm · 10^{-3}
1	396	121	20860	480	15,1	25,2	38,5	—	—	—	ohne Entlastung zerrissen	—	—	—
9	392	126	20070	494	24,2	26,2	42,7	—	—	—		—	—	—
17	375	126	21100	473	18,7	26,0	41,3	—	—	—		—	—	—
2	394	123	20680	485	20,3	25,9	25,9	0,2	0,2	—	Entlastet und sofort nochmals geprüft	124	20420	488
3	394	118	21500	465	22,9	26,6	27,3	2,0	2,0	—		129	19700	508
4	391	—	—	—	—	26,9	33,8	5,0	4,5	—		—	—	—
5	390	—	—	—	—	25,6	40,4	10,0	9,6	—		145)	(17700)	(565)
6	401	119	20900	478	22,4	28,1	42,4	14,0	13,6	—		(140)	(17800)	(561)
7	392	125	20490	490	25,5	28,7	42,6	18,0	17,75	—		(151)	(16900)	(592)
8	388	114	22600	442	20,6	28,4	43,1	>20,0	> 20	—		161	16000	625
10	385	125	20700	482	20,8	27,9	28,6	0,55	0,55	—	1	130	20000	501
11	388	126	20410	489	25,8	27,1	29,4	2,0	1,80	—		131	19700	508
12	392	127	20070	498	25,5	27,4	35,2	5,0	4,8	—		136	18750	533
13	388	129	20000	500	20,6	27,1	40,5	10,0	[9,5]	—		139	18500	540
14	396	125	20200	495	20,2	26,5	42,1	14,0	[13,5]	—		148	17000	586
15	387	124	20890	480	18,1	28,4	43,5	18,0	17,8	—		149	17300	577
16	388	129	20000	500	18,0	26,5	41,8	20,5	20,5	—		151	17000	586
18	393	125	20330	492	20,4	24,8	24,8	0,2	—	0,5	7	124	20420	488
19	405	120	20560	486	17,3	25,9	27,7	2,0	[1,8]	3,2		126	19600	510
20	394	121	20990	477	25,4	26,6	[29,2]	5,0	4,8	5,1		132	19220	520
21	390	127	20200	495	20,5	26,3	37,2	10,0	9,8	9,5		(143)	(17900)	(558)
22	392	124	20560	486	20,4	27,4	40,8	14,0	—	14,1		143	17700	561
23	407	119	20600	485	22,1	27,7	42,7	18,0	17,9	17,8		143	17220	583
24	408	115	21230	470	19,6	26,3	42,9	>20,5	—	22,5		147	16670	600
25	401	114	21800	458	19,9	27,4	28,5	0,5	—	0,00	21	(121)	(17800)	(486)
26	405	120	20560	486	22,2	27,2	28,6	2,0	—	2,00		(123)	(20000)	(499)
27	405	117,5	21000	476	22,2	27,8	35,1	5,0	—	4,9		(124)	(19850)	(503)
28	408	119	20560	486	22,1	27,0	39,9	10,2	—	10,0		131	18700	535
29	392	124	20530	487	23,0	28,1	42,1	14,3	—	14,0		140	18200	550
30	393	119	21400	468	22,9	28,0	42,5	18,0	—	18,0		144	17700	566
31	403	122	20300	493	22,3	27,3	42,7	>22,0	—	22,4		150	16500	605
32	400	124	20150	496	23,8	27,5	28,1	0,2	—	0,3	63	(120)	20630	(480)
33	398	121	20770	482	25,1	27,6	29,2	2,2	—	2,0		124	20290	495
34	397	123	20410	489	22,7	27,7	35,0	5,0	—	4,8		(132)	19040	(525)
35	395	137	18440	542	25,3	26,6	36,7	9,9	—	9,5		(138)	18320	(545)
36	395	126	20100	498	17,7	25,3	37,2	14,2	—	13,8		138	18270	545
37	403	117	21150	473	19,8	26,0	38,0	18,0	—	18,0		138	17560	557
38	402	122	20350	491	22,4	26,1	38,5	23,8	—	23,9		144	17330	580

Die „Eigenschaften der Stäbe" (Tab. 6 u. 7) sind bei beiden Belastungsreihen unter Zugrundelegung der ursprünglichen Abmessungen d. h. derjenigen vor der ersten Belastungsreihe, berechnet.

a) Die ursprünglichen Festigkeitseigenschaften des Probematerials.

Die Festigkeitseigenschaften des zu den Untersuchungen verwendeten Bleches, im Anlieferungszustande und nach dem Ausglühen, ermittelt an Flachstäben von der Form Fig. 4,

die ursprünglichen Abmessungen bezogen) im ursprünglichen Zustande und Vorstrecken.

Belastungsreihe						Verhältnißzahlen, die Werthe aus der ersten Belastungsreihe = 100 gesetzt. — Hierzu Schaulinien Fig. 15.						Verhältniß von σ_{max} (höchste Spannung bei der ersten Belastungsreihe) zu	
Spannungen kg/qmm			Bruchdehnung gemessen auf je		Entfernung des Bruches von der Endmarke mm	Dehnungszahl $\frac{\alpha'}{\alpha}\cdot 100$	Spannungen			Bruchdehnung			
P-Grenze $\frac{P}{F}=\sigma'_P$	S-Grenze $\frac{S}{F}=\sigma'_S$	Bruch $\frac{B}{F}=\sigma'_B$	50 mm v. d. Bruchstelle % δ'_5	100 mm % δ'_{10}			$\frac{\sigma'_P}{\sigma_P}\cdot 100$	$\frac{\sigma'_S}{\sigma_S}\cdot 100$	$\frac{\sigma'_B}{\sigma_B}\cdot 100$	$\frac{\delta'_5}{\delta_5}\cdot 100$	$\frac{\delta'_{10}}{\delta_{10}}\cdot 100$	σ'_P	σ'_S
—	—	38,5	36,8	28,8	90	—			40,8 = σ_B	36,7 = δ_5	28,9 = δ_{10}	—	—
—	—	42,7	33,9	27,3	90	—	—	—					
—	—	41,3	39,4	30,5	30	—							
17,8	24,8	38,7	41,3	32,3	50	100	88	96	95	113	112	69	96
(15,3)	24,8	40,0	39,6	31,4	65	109	67	94	98	108	109	56	91
n. vorh.	33,9	41,5	32,7	28,4	70	—	—	126	102	89	98	—	100
(18,0)	41,1	43,0	31,5	27,2	80	—	—	160	105	86	94	(45)	102
(15,0)	43,0	43,6	33,6	27,2	80	(117)	(67)	153	107	92	94	(35)	102
(17,9)	42,8	44,0	33,0	25,5	10	(121)	(70)	149	108	90	88	(42)	100
15,5	41,3	44,5	36,5	30,8	10	141	87	145	109	99	107	42	96
23,4	26,0	42,9	32,5	26,4	60	104	113	93	105	89	91	82	91
23,2	28,4	42,5	34,5	27,7	95	104	90	105	104	94	96	79	97
30,6	39,6	42,7	31,9	25,3	90	107	120	145	105	87	88	87	112
31,0	44,5	44,5	29,8	23,2	15	108	150	164	109	81	80	77	110
35,4	46,7	46,7	22,5	18,4	10	118	175	176	114	61	64	84	111
36,2	48,5	48,5	—	—	außer-	120	200	171	119	—	—	83	111
38,7	47,0	47,0	—	—	halb	117	215	177	115	—	—	93	112
22,9	24,8	38,2	36,4	27,4	80	99	112	100	94	99	95	92	100
27,2	31,5	40,1	32,9	28,0	70	105	157	122	98	90	97	98	113
35,6	36,2	41,3	33,9	25,8	90	109	140	136	101	92	89	[122]	[124]
(41,1)	42,3	44,9	30,7	25,4	60	(113)	(200)	161	110	84	88	(110)	114
40,8	46,6	47,2	30,6	26,0	50	115	200	170	115	83	90	100	114
41,8	48,5	48,5	30,8	24,3	20	120	189	175	119	84	84	98	113
41,7	49,6	49,6	32,1	26,9	30	128	213	189	121	88	93	97	116
(22,4)	28,7	43,0	32,4	26,1	100	(106)	(112)	105	105	88	90	(79)	101
(24,7)	29,6	44,5	22,0	16,8	50	(102)	(111)	109	109	60	58	(86)	103
(27,2)	40,8	48,1	26,9	21,4	35	(106)	(122)	147	118	73	74	(77)	116
39,2	45,3	50,2	27,5	24,1	30	110	177	168	123	75	83	98	113
40,8	48,5	51,0	31,7	26,4	20	113	177	173	125	86	91	97	115
45,8	48,3	50,9	32,3	28,7	30	121	200	173	125	88	99	108	114
42,2	49,0	50,8	34,4	30,2	40	123	189	180	124	94	104	99	115
(20,0)	27,5	43,1	31,8	24,4	90	(97)	(84)	100	106	86,5	84	(71)	98
28,9	30,2	45,9	22,2	17,4	70	103	115	109	112	60	60	99	103
(39,7)	40,9	48,5	29,2	23,6	60	(107)	(175)	148	119	80	82	(113)	117
(40,5)	43,0	48,1		26,9	20	(101)	(160)	162	118	89	93	(110)	117
40,5	43,0	46,8		23,4	10	109	229	170	115	89	95	109	116
27,3	44,0	47,1		11,1	90	118	138	169	115	98	108	(72)	116
42,9	44,8	46,0		15,6	[illegible]	118	192	172	113	107	120	111	116

sind in Fig. 14 die Ergebnisse der Dehnungs-
Schaulinien aufgetragen.

aus den Verhältnißzahlen, welche der Tab. 5 in
ich, daß das Material bei der Herstellung
Härtung erfahren hat. Die Ergebnisse für die
n verschiedenen Stellen (s. Fig. 7) aus dem Blech

Tabelle 7. **Einfluß der Vorstreckung in der Längs-**

Stab Nr.	Quer-schnitt	a) Dehnungsmessungen bei der ersten Belastungsreihe: Dehnungszuwachs in 0,0001 % für je 1000 kg bei den folgenden Belastungen in t									Proportionalitätsgrenze		Vorstreckung bei der ersten Belastungsreihe	Dauer der Ruhe zwischen beiden Belastungsreihen	Dehnungs-		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	Belastung t	Mittlere Dehnung f. je 1000 kg Belastung 0,0001 %	%	Tage	2	3	4
	qmm																
1	396	121	123	122	118	123	127	139	135	203	6	121					
9	392	138	123	137	123	123	120	123	121	117	9,5	126	—	—	—	—	—
17	375	123	127	127	125	125	127	119	105	122	7	126					
2	394	122	126	119	125	124	125	123	129	153	8	123	0,2	Ent-	122	124	122
3	394	121	118	109	117	118	121	121	120	125	9	118	2,0	lastet	125	126	130
4	391	128	—	—	—	—	125	124	121	123	—	—	4,5	und	129	131	133
5	390	132	132	—	—	—	—	—	135	—	—	—	9,6	sofort	133	141	153
6	401	116	123	121	117	123	115	117	117	119	9	119	13,6	noch-	135	143	138
7	392	127	125	123	125	125	123	125	125	125	10	125	17,75	mal	160	160	141
8	388	111	118	96	107	123	123	121	125	130	(8)	114	>20	geprüft	161	160	161
10	385	126	125	126	126	125	127	122	132	127	8	125	0,55		127	132	135
11	388	113	131	127	130	130	126	127	126	128	10	126	1,8		120	133	140
12	392	132	126	127	125	127	127	123	126	125	10	127	4,8		149	136	141
13	388	129	114	129	134	130	133	133	172	346	8	129	9,5	1	143	146	139
14	396	127	130	129	125	121	121	122	124	141	8	125	13,5		155	145	143
15	387	123	126	123	125	123	123	127	121	127	7	124	17,8		147	158	147
16	388	131	130	131	125	129	128	133	131	153	7	129	20,5		(171)	155	151
18	393	128	124	125	124	123	124	125	141	—	8	125	0,5		129	125	125
19	405	121	123	117	122	119	119	127	164	201	7	120	3,2		129	129	135
20	394	117	114	121	123	122	123	122	121	122	10	121	5,1		133	133	130
21	390	128	129	129	123	125	127	127	161	129	8	127	9,9	7	148	143	145
22	392	120	124	123	125	125	125	124	127	131	8	124	14,1		(185)	146	145
23	407	120	118	121	118	118	124	119	116	130	9	119	17,8		139	143	143
24	408	114	115	114	115	116	116	115	120	118	8	115	22,5		146	153	148
25	401	117	108	119	115	114	119	109	135	134	8	114	0,0		119	(268)	128
26	405	117	119	122	120	117	124	118	120	124	9	120	2,0		124	(194)	127
27	405	119	118	116	119	115	117	117	119	122	9	117,5	4,9		87	135	118
28	408	120	121	119	117	120	(169)	121	118	127	9	119	10,0	21	127	129	131
29	392	125	125	124	124	126	119	123	123	153	9	124	14,0		(178)	141	141
30	393	117	115	121	121	117	119	121	121	146	9	119	18,0		136	146	146
31	403	126	123	118	123	121	122	120	123	130	9	122	22,4		121	132	149
32	400	132	125	123	121	124	121	122	123	126	9,5	124	0,3		120	122	121
33	398	122	122	121	121	121	120	122	121	120	10	121	2,0		121	121	123
34	397	123	125	125	124	121	123	122	123	145	9	123	4,8		117	111	122
35	395	143	142	138	138	135	131	139	133	136	10	137	9,5	63	121	127	127
36	395	125	126	128	127	124	129	137	141		7	126	13,8		135	139	139
37	403	111	119	117	119	117	117	117	121	131	8	117	18,0		131	130	141
38	402	129	122	123	122	122	118	121	119	123	9	122	23,9		150	162	156

entnommenen Stäbe 1, 9 und 17 stimmen aber so gut überein, daß das Blech für die Untersuchung als hinreichend gleichmäßig erachtet werden konnte. Erhebliche Unterschiede zeigen nur die Spannungen an der Proportionalitätsgrenze. Sie dürften dadurch veranlaßt sein, daß die Stäbe 9 und 17 zuerst außerhalb der Meßlänge streckten, sodaß nach dem Anheben der einzelnen Laststufen innerhalb der Meßlänge kein Gleichgewichtszustand zwischen der Belastung und den inneren Spannungen im Stabe herrschte; die Dehnung konnte hierdurch zu klein und in Folge dessen die Proportionalitätsgrenze zu hoch gefunden werden.

richtung auf die Dehnung innerhalb der Streckgrenze.

b) Dehnungsmessungen bei der zweiten Belastungsreihe

Zuwachs in 0,0001 % für je 1000 kg bei den folgenden Belastungen in t																Proportionalitätsgrenze	
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Belastung t	Mittlere Dehnung für je 1 t Belastung 0,0001 %
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
126	126	126	130	130	828											7	124
131	131	136	142	148	317											(6)	129
135	138	140	147	185	151	180	169	205								—	—
155	145	143	149	152	165	167	175	186	186	237	360					(7)	(145)
143	141	145	150	151	164	163	180	165	184	165	199	253				(6)	(140)
134	157	156	171	179	168	175	185	187	173	220	227	500				(7)	(151)
162	161	163	169	173	182	184	183	188	217	210	230	353				6	161
129	129	129	129	127	143	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	130
133	120	133	133	133	137	230	1140	—	—	—	—	—	—	—	—	9	131
132	137	133	130	136	130	135	135	141	121	147	—	—	—	—	—	12	136
127	153	139	141	135	139	136	140	140	143	146	151	187	—	—	—	12	139
151	146	(193)	153	151	151	148	145	147	145	196	155	155	162	—	—	14	148
150	147	148	148	149	147	148	150	146	147	151	152	153	173	—	—	14	149
153	153	149	154	151	149	151	151	153	150	149	153	161	182	—	—	15	151
125	119	124	122	125												9	124
120	123	123	129	125	123	124	126									11	126
132	137	132	133	129	135	127	131	135	133							14	132
145	142	143	143	141	140	140	138	142	153	139	138					(16) [1]	(143)
143	142	145	143	140	145	141	143	140	147	139	143	149	160			16	143
142	141	146	145	140	142	142	143	144	141	143	143	143	147	147		17	143
145	147	146	149	140	147	147	145	150	145	146	146	147	154	153	177	17	147
113	127	119	121	121	105	123										(9)	(121)
(175)	123	(190)	121	(172)	121	(155)	273									(10)	(123)
141	116	139	117	132	135	123	160	143	132	119	125					(11)	(124)
131	131	129	131	131	132	130	129	132	134	132	131	136	135			16	131
141	139	142	141	147	136	139	140	140	141	140	139	145	144	160	—	16	140
146	146	144	144	148	144	145	143	144	147	140	142	141	139	153	—	18	144
149	151	155	153	148	197	142	150	149	149	149	153	152	158	162	—	17	150
119	119	123	118	114	127	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(8)	(120)
121	123	121	128	127	127	125	142	—	—	—	—	—	—	—	—	11,5	124
123	127	128	132	135	139	137	140	141	138	143	142	—	—	—	—	(15,75)	(132)
131	133	134	132	137	135	141	143	144	151	147	149	139	—	—	—	(16,0)	(138)
139	136	138	137	140	138	135	143	137	140	142	140	147	—	—	—	16,0	138
148	143	145	144	141	145	145	148	153	157	157	162	159	—	—	—	11,0	138
148	147	145	150	147	143	141	137	136	137	129	133	137	173	—	—	17,25	144

b) Einfluß der Vorstreckung auf die Festigkeitseigenschaften der Stäbe.

α) Beziehungen zwischen den Festigkeitseigenschaften der Stäbe vor und nach dem Strecken.

Die aus den Beobachtungswerthen beider Belastungsreihen und den ursprünglichen Abmessungen der Stäbe berechneten Festigkeitseigenschaften sind in Tab. 6 gegenübergestellt. Zugleich sind ihnen Verhältnißzahlen für die Werthe beider Reihen angefügt und nach diesen die Schaulinien Fig. 15 verzeichnet.

[1] Unsicher wegen Dehnungszunahme zwischen 12 u. 14 t.

Tabelle 8. Festigkeitseigenschaften des Materials nach ver-

Stab Nr.	Vorgestreckt um	Mittlerer Querschnitt vor dem Vorstrecken		Veränderung der Abmessungen durch das Vorstrecken			Längen nach dem Bruch gemessen auf ursprünglich je		Festigkeitseigenschaften des Materials nach dem					
		vor	nach	Querschnittsänderung	Meßlängen nach dem Vorstrecken zur Berechnung von		50	100	Mittlere Dehnung für 1 t Belastung	Dehnungszahl α''	Spannungen kg/qmm			
		F	f^2)	$\frac{F-f}{F}\cdot 100$	δ_5	δ_{10}	mm von der Bruchstelle				$\frac{P}{f}=\sigma''_P$	$\frac{S}{f}=\sigma''_S$	$\frac{B}{f}=\sigma''_B$	σ''_S/σ''_B
	$\%$ 1)	qmm		%	mm		mm		$\frac{1}{10000}$ %	mm 10^{-1}				
2	[0,2]	394	[393]	[0,3]	100,2	200,4	141,3	264,6	124	[488]	[17,8]	[24,8]	[38,8]	[64]
3	[2,0]	394	[386]	[2,0]	102,0	204,0	139,6	262,8	129	[499]	[15,5]	[25,2]	[40,8]	[62]
4	[4,5]	391	[374]	[4,3]	104,5	209,0	132,7	256,8	—	—	—	[35,4]	[43,5]	[81]
5	[9,6]	390	[356]	[8,7]	109,6	219,2	131,5	254,4	(145)	(516)	(19,7)	[45,0]	[47,0]	[96]
6	[13,6]	401	[353]	[11,9]	113,6	227,2	133,6	254,4	(140)	(495)	(17,0)	[48,8]	[49,6]	[98]
7	[17,75]	392	[333]	[15,0]	117,8	235,6	133,0	251,0	(151)	(503)	(21,0)	[50,3]	[51,8]	[97]
8	(> 20)	388	(320)	(17,5)	(120)	(240)	136,5	261,6	161	[515]	[21,9]	[50,0]	[53,8]	[93]
10	[0,55]	385	384	0,3	100,6	201,2	132,5	252,8	130	500	23,4	26,0	43,0	61
11	[1,80]	388	382	1,5	101,8	203,6	134,5	255,4	131	501	23,6	28,8	43,2	67
12	[4,8]	392	374	4,6	104,8	205,6	131,9	250,6	136	509	32,1	41,5	44,8	93
13	[9,5]	388	357	8,0	109,5	219,0	129,8	246,4	139	496	33,6	48,3	48,3	100
14	[13,5]	396	348	12,1	113,5	227,0	122,5	236,8	148	515	40,3	53,2	53,2	100
15	[17,8]	387	334	13,7	117,8	235,6	außerhalb der Theilung gerissen		149	498	41,9	56,1	56,1	100
16	[20,5]	388	322	17,0	120,5	241,0			151	486	46,6	56,6	56,6	100
18	0,5	393	388	1,3	100,5	201,0	136,4	254,8	124	481	23,2	25,2	38,7	65
19	3,2	405	394	2,7	103,2	206,4	132,9	256,0	126	497	28,0	32,4	41,2	79
20	5,1	394	378	4,1	105,1	210,2	133,9	251,6	132	500	37,0	37,7	43,0	88
21	9,9	390	356	8,7	109,9	219,8	130,7	250,8	(143)	(510)	45,0	46,4	49,1	94
22	14,1	392	342	12,7	114,1	228,2	130,6	252,0	143	490	46,7	53,4	54,1	99
23	17,8	407	349	14,3	117,8	235,6	130,8	248,6	143	500	54,5	56,6	56,6	100
24	22,5	408	336	17,6	122,5	245,0	132,1	253,8	147	494	50,6	60,3	60,3	100
25	0,0	401	401	0,0	100,0	200,0	132,4	252,2	(121)	(485)	22,4	28,7	43,0	67
26	2,0	405	400	1,2	102,0	204,0	122,0	233,6	(123)	(492)	25,0	30,0	45,0	67
27	4,9	405	387	4,5	104,9	209,8	126,9	242,8	(124)	(480)	28,4	42,6	50,4	84
28	10,0	408	366	10,3	110,0	220,0	127,5	248,2	131	480	43,7	50,5	56,1	90
29	14,0	392	344	12,2	114,0	228,0	131,7	252,8	140	482	46,5	55,2	58,1	95
30	18,0	393	334	15,0	118,0	236,0	132,3	257,4	144	482	53,9	56,8	59,9	95
31	22,4	403	338	16,1	122,4	244,8	134,4	260,4	150	508	50,3	58,4	59,9	98
32	0,3	400	400	0,0	100,3	200,6	131,8	248,8	(120)	(480)	(20,0)	27,5	43,1	64
33	2,0	398	387	2,8	102,0	204,0	122,2	234,8	124	480	29,7	31,0	47,2	66
34	4,8	397	376	5,3	104,8	209,6	129,2	247,2	(132)	(496)	(41,4)	43,2	51,2	84
35	9,5	395	357	9,6	109,5	219,0	132,6	253,8	(138)	(492)	(44,9)	47,6	53,2	90
36	13,8	395	342	13,4	113,8	227,6	132,6	254,8	138	472	46,8	49,7	54,1	92
37	18,0	403	337	16,4	118,0	236,0	136,1	262,2	138	465	32,7	52,7	56,4	94
38	23,9	402	319	20,6	123,9	247,8	139,3	269,2	144	460	54,1	56,4	58,0	97

1) Die Vorstreckung der Stäbe 2—13 und 15, 16 ist bei 1 t Nullast festgestellt, die des Stabes 14 bei der Höchstlast, für

2) Die Querschnitte f der Stäbe 2—8 sind aus der bei Reihe I erzielten Vorstreckung berechnet, bei allen übrigen Stäben

3) Zur Berechnung der Verhältnißzahlen für die Bruchspannungen σ_B und Bruchdehnungen δ_{10} und δ_{100} sind die Mittel- $\delta_{10} = 36{,}7$ % und $\delta_{100} = 28{,}9$ %.

schieden großer Vorstreckung und verschieden langer Lagerung.

Vorstrecken: Bruchdehnung bezogen auf die Länge nach dem Vorstrecken für 50 mm vom Bruch in % δ''_5	Vorstrecken: Bruchdehnung bezogen auf die Länge nach dem Vorstrecken für 100 mm vom Bruch in % δ''_{10}	Dauer der Entlastung zwischen beiden Belastungsreihen in Tagen	Verhältniß zwischen den Festigkeitseigenschaften des Materials im ursprünglichen Zustande und nach dem Vorstrecken; die Werthe für den ersteren (Tab. 6) = 100 gesetzt: Dehnungszahl α'' mm · 10^{-6}	Spannungen kg/qmm: σ''_P/σ_P	σ''_S/σ_S	σ''_B/σ_B [3]	Bruchdehnungen %: δ''_5/δ_5 [3]	$\delta''_{10}/\delta_{10}$ [3]	Höchste Belastung beim Vorstrecken σ_{max} kg/qmm	Verhältniß der größten Spannung beim Vorstrecken (= 100) zur: Proportionalitätsgrenze $\frac{\sigma''_P}{\sigma_{max}}\cdot 100$	Streckgrenze $\frac{\sigma''_S}{\sigma_{max}}\cdot 100$
41,0	32,0	Entlastet und sofort nochmals bis zum Bruch gereckt	[100]	[88]	[96]	[95]	112	111	25,9	[69]	[96]
36,8	28,8		[107]	[68]	[95]	[100]	100	100	27,3	[57]	[92]
27,0	22,9		—	—	[131]	[106]	74	80	33,8	—	[105]
20,0	16,1		—	—	[175]	[115]	55	56	40,4	[49]	[111]
17,6	12,0		[104]	[76]	[173]	[121]	48	42	42,4	[40]	[115]
12,9	6,5		[103]	[82]	[175]	[127]	35	23	42,6	[49]	[118]
(13,7)	(9,0)		[116]	[106]	[176]	[132]	(37)	(31)	43,1	[51]	[125]
31,7	25,6	1	104	112	93	105	86	89	28,6	82	91
32,1	25,4		102	92	106	106	87	88	29,4	80	98
25,8	21,9		102	126	151	110	70	76	35,2	91	118
18,5	12,5		99	163	178	118	50	43	40,5	83	119
7,9	4,3		101	199	200	130	22	15	42,1	96	126
—	—		104	231	198	137	—	—	43,5	96	129
—	—		97	258	214	139	—	—	41,8	111	135
35,7	26,8	7	98	114	102	95	97	93	24,5	95	103
28,8	24,0		102	162	125	101	78	83	27,7	101	117
27,4	19,7		105	146	142	105	75	68	[29,2]	[127]	[129]
18,9	14,1		(103)	220	176	120	52	49	37,2	121	125
14,5	10,4		101	229	195	132	40	36	40,8	114	131
11,0	5,5		103	247	204	139	30	19	42,7	127	132
7,8	3,6		105	258	229	148	21	12	42,9	118	141
32,4	26,1	21	106	113	105	105	88	90	28,5	79	100
19,6	14,5		101	113	110	110	53	50	28,6	87	105
21,0	15,7		101	128	153	123	57	54	35,1	81	121
15,9	12,8		99	198	187	137	43	44	39,9	109	126
15,5	10,9		99	202	196	142	42	38	42,1	110	131
12,1	9,1		103	235	203	146	33	31	42,5	127	134
9,7	6,4		103	226	214	146	27	22	42,7	118	137
31,4	24,0	63	(97)	84	100	105	86	80	28,1	(71)	98
19,8	15,1		100	118	109	115	54	52	29,2	102	106
23,3	18,0		(101)	182	157	125	64	60	35,0	(118)	123
21,1	15,9		(91)	177	179	130	58	53	36,7	(122)	130
14,2	11,9		95	264	196	133	39	40	37,2	126	133
15,3	11,1		98	165	203	138	42	37	38,0	[86]	139
12,4	8,6		94	241	216	142	34	30	38,5	140	146

alle übrigen Stäbe nach dem Entlasten.

durch Ausmessen ermittelt.

werthe für die im Anlieferungszustande geprüften Stäbe 1, 9 und 17 benutzt und zwar (s. Tab. 5) für σ_B = 40,8 kg/qmm,

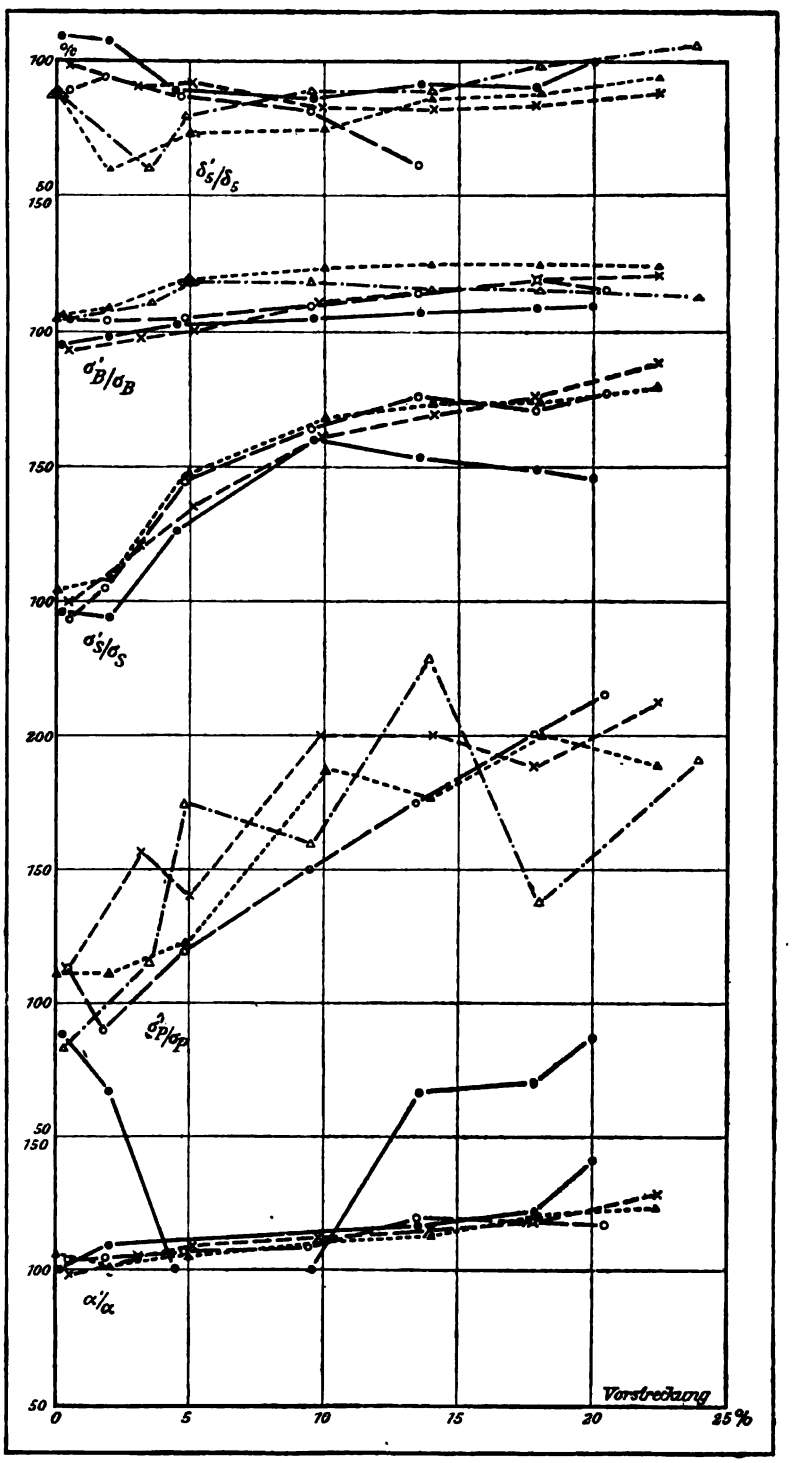


Fig. 15.
Einfluß des Vorstreckens auf die Festigkeitseigenschaften der Stäbe.

Zeichenerklärung:

● ——— ● sofort zum zweiten Mal geprüft.

○ — — ○ 1 Tag Ruhepause.

× — — — × 7 Tage Ruhepause.

▲ · · · · · · ▲ 21 Tage Ruhepause.

△ — · — △ 63 Tage Ruhepause.

Zur Berechnung der Verhältnißzahlen sind immer die Werthe, welche mit demselben Stabe bei der ersten Belastungsreihe erhalten wurden, gleich 100 gesetzt. Für die Bruchspannungen und Bruchdehnungen liegen aus der ersten Reihe keine Beobachtungswerthe vor. An ihrer Stelle sind daher die mittleren Bruchspannungen und Dehnungen der im Anlieferungszustande ohne Unterbrechung bis zum Bruch geprüften Stäbe 1, 9 u. 17 (s. Tab. 5) benutzt.

Der Verlauf der Schaulinien Fig. 15 führt zu folgenden Schlüssen:

1. Die Dehnungszahl α, d. h. die mittlere Dehnung der Längeneinheit für die Spannungseinheit bis zur P-Grenze nimmt proportional mit dem Betrage der Vorstreckung (V_s) zu (s. S. 26 Satz 2).

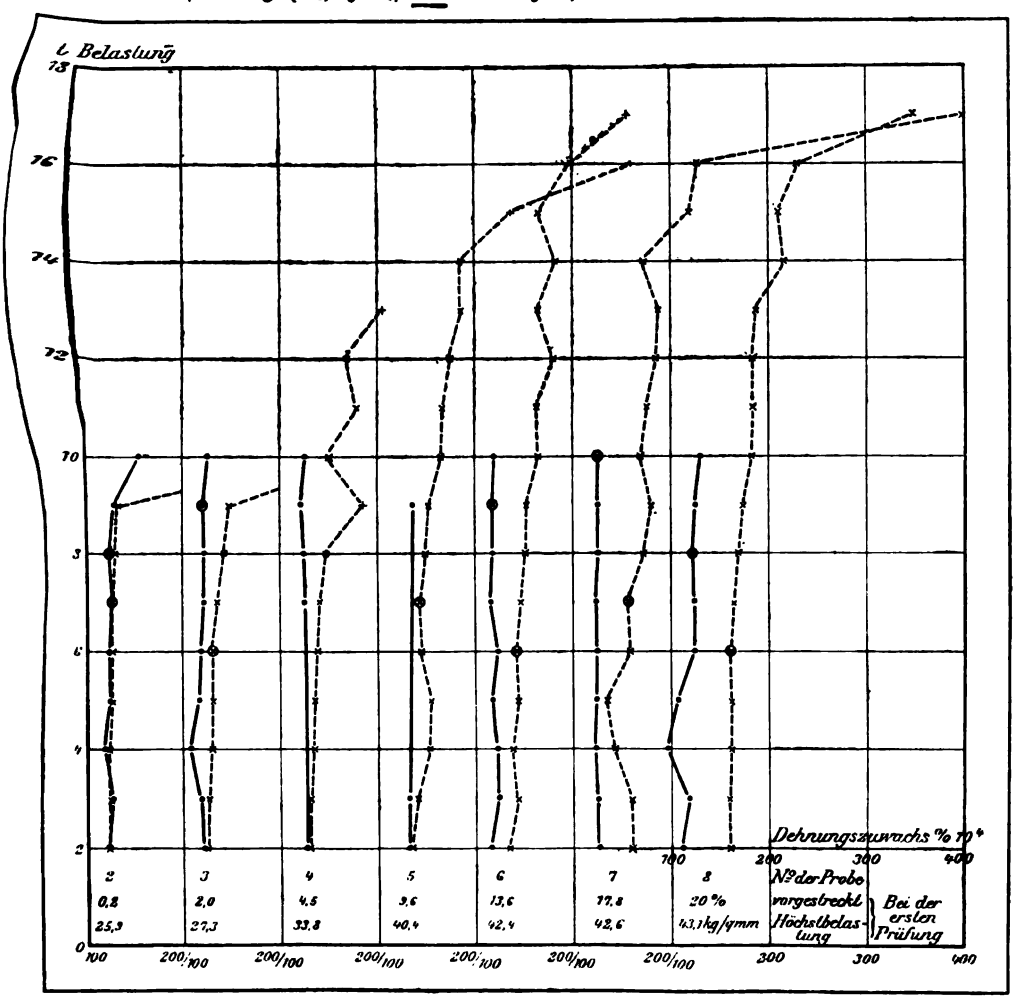


Fig. 16. Dehnungszuwachs in $\%_0 \cdot 10^{-4}$ ursprünglich und nach dem Vorstrecken.
a) Sofort zum zweiten Mal geprüft.
•———• erste, ×– – – – × zweite Prüfung.

Um zu zeigen, mit welcher Sicherheit die Werthe für α und σ_P überhaupt ermittelt wurden, sind die in beiden Belastungsreihen für die einzelnen Laststufen beobachteten Dehnungen in Tab. 7 wiedergegeben und nach ihnen die Schaulinien Fig. 16—20 verzeichnet. Jede

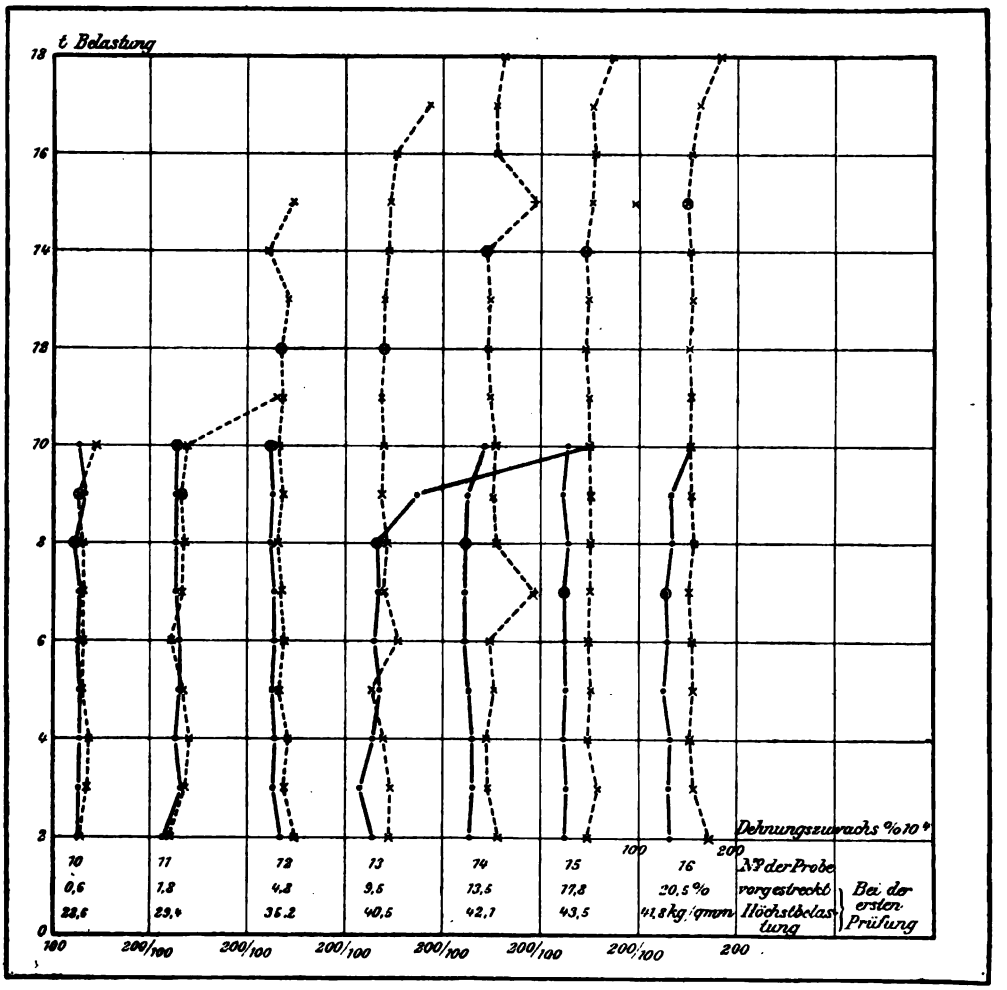


Fig. 17. Dehnungszuwachs in $\%_0 \cdot 10^{-4}$ ursprünglich und nach dem Vorstrecken.
b) Nach 1 Tag Ruhe zum zweiten Mal geprüft.
· ——— · erste, × — — — × zweite Prüfung.

Figur umfaßt 7 Stäbe, die bei der ersten Belastungsreihe in verschiedenem Grade vorgestreckt wurden, dann aber alle bis zur zweiten Prüfung gleich lange lagen. Die beiden demselben Stabe angehörigen Linien, von denen die vollausgezogene die Werthe für den ursprünglichen Zustand und die punktirte diejenigen der zweiten Belastungsreihe darstellt, haben stets dieselbe Nullordinate. Die Nullordinaten für die verschiedenen Stäbe sind aber stets um ein Feld des Liniennetzes gegen einander verschoben. Die P-Grenzen sind durch Kreise gekennzeichnet.

2. Die Proportionalitätsgrenze. Bei sofortiger nochmaliger Prüfung zeigten nur die Stäbe Nr. 2 u. 8 mit $V_s = 0{,}2$ u. 20% ausgeprägte Proportionalität zwischen Belastung und Dehnung; bei dem Stabe 4 mit $V_s = 4{,}5$ war keine Proportionalität vorhanden und bei allen übrigen Stäben war sie nicht scharf zu erkennen. Wegen der schwachen Neigung ihrer Schaulinien könnte die P-Grenze vielleicht noch tiefer gelegt werden, als es geschehen. Jedenfalls war sie bei den

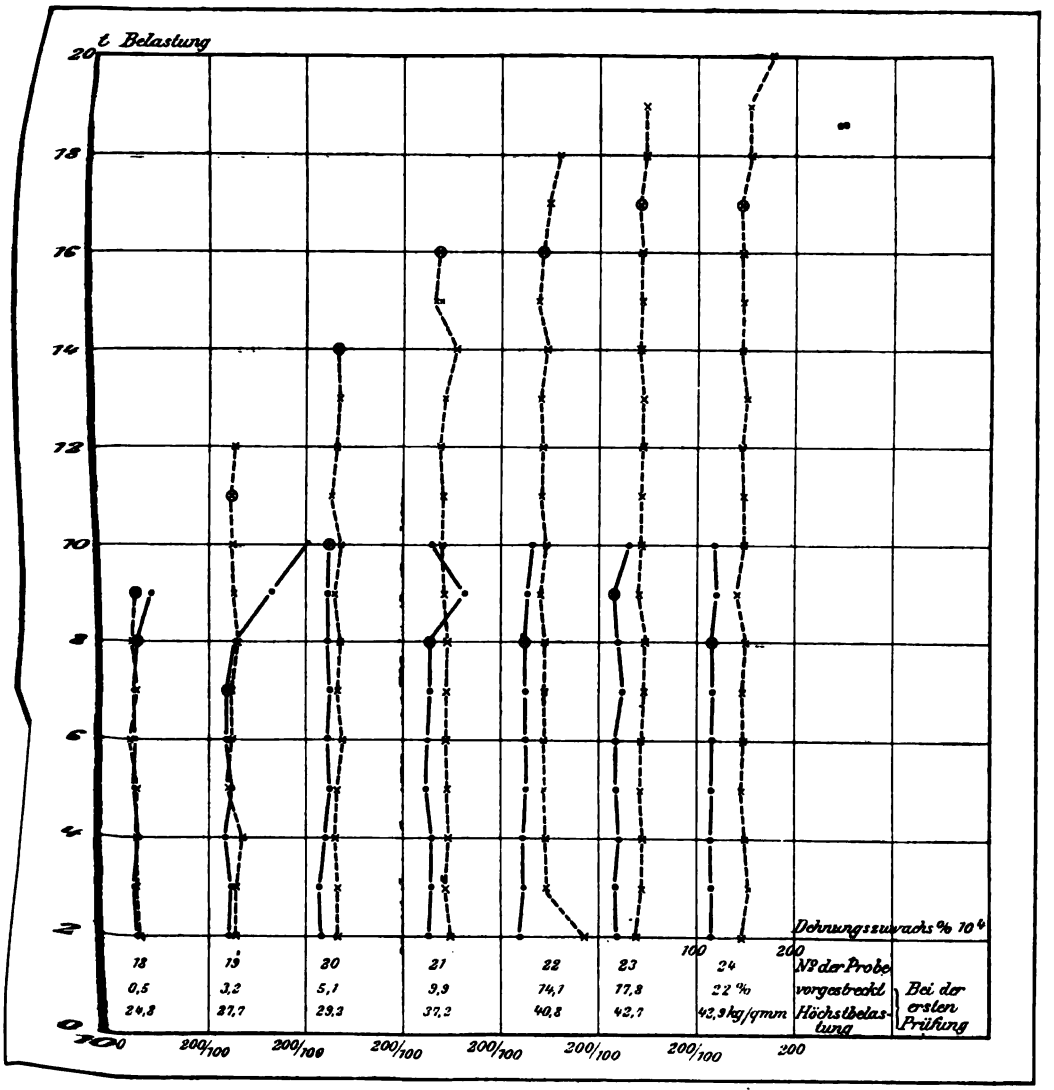


Fig. 18. Dehnungszuwachs in $\% \cdot 10^{-4}$ ursprünglich und nach dem Vorstrecken.
c) Nach 7 Tagen Ruhe zum zweiten Mal geprüft.
·——· erste, × — — — × zweite Prüfung.

sofort zum zweiten Mal geprüften Stäben durch das Vorstrecken unter den ursprünglichen Werth heruntergedrückt und zwar am meisten bei den Stäben mit $V_s = 4{,}5$ u. $9{,}6\ \%$.

Nach eintägiger Pause zwischen beiden Belastungsreihen (s. Fig. 17) wurde σ'_P bei allen Stäben (ausgenommen Nr. 11 mit $V_s = 1{,}8\ \%$ und $\sigma'_P/\sigma_P = 90\ \%$) höher gefunden als das ursprüngliche σ_P. Die Steigerung wuchs zwischen $V_s = 4{,}8$ und $20{,}5\ \%$ von 20—115 % proportional zu den Werthen von V_s an.

Nach längerer Pause (s. Fig. 18–20) wurden besonders für $V_s \leqq 15\ \%$ noch größere Steigerungen von σ'_P gegen σ_P gefunden als nach einem Tage. Es hat den An-

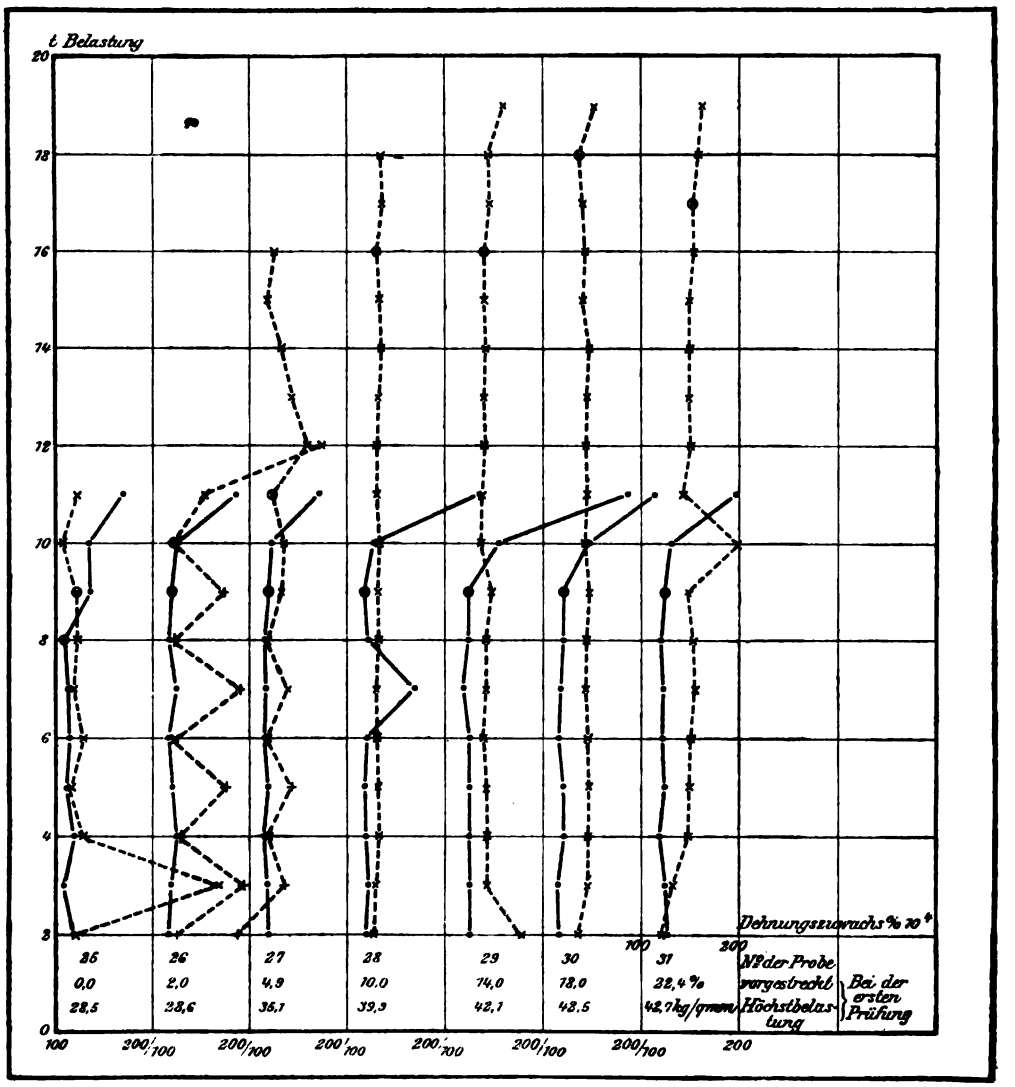


Fig. 19. Dehnungszuwachs in $\%_0 \cdot 10^{-4}$ urſprünglich und nach dem Vorſtrecken.
d) Nach 21 Tagen Ruhe zum zweiten Mal geprüft.
·——· erſte, ×— — — × zweite Prüfung.

ſchein, als ob die höchſten Werthe nach ſiebentägigem Lagern ſich ergaben. Die Einzelwerthe für $^{\sigma'P}/_{\sigma_P}$ ſind indeſſen zu unregelmäßig, als daß ſie ſichere Schlüſſe darüber geſtatten, wie der Einfluß längeren Liegens auf die P-Grenze verläuft.

3. Die Streckgrenze σ'_s war bei ſofortiger nochmaliger Prüfung durch $V_s = 0{,}2$ und 2 % um Weniges heruntergedrückt (ſ. Fig. 15), ebenſo bei Prüfung nach 1 Tag Pauſe durch $V_s = 0{,}5$ % (ſ. auch den Verlauf der Schaulinien Fig. 21.) Bei allen übrigen Stäben iſt σ'_s durch Vorſtrecken gehoben. Bei ſofortiger nochmaliger Prüfung ergab ſich das Maximum der Hebung für $V_s = 9{,}6$ %; bei größerem V_s wurde σ'_s wieder geringer gefunden. Bei den

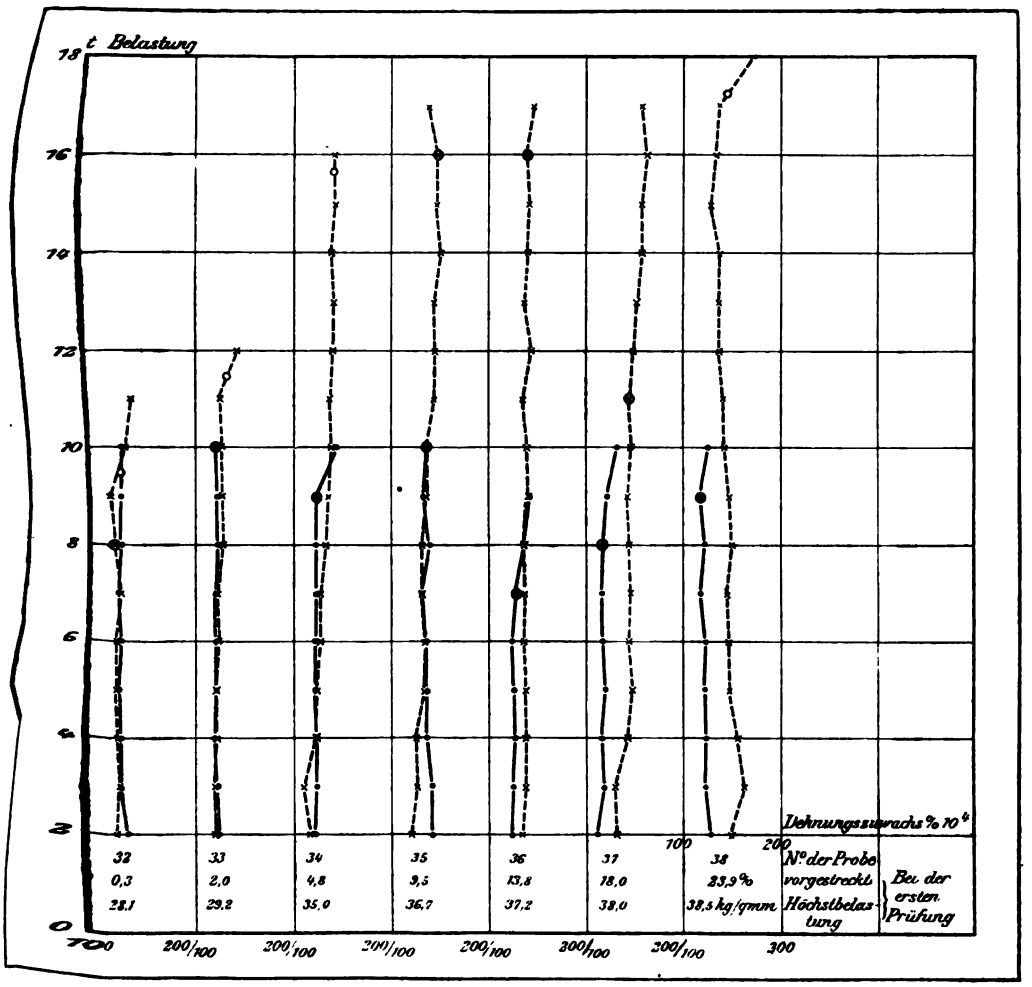


Fig. 20. Dehnungszuwachs in $\%_0 \cdot 10^{-4}$ ursprünglich und nach dem Vorstrecken.
e) Nach 63 Tagen Ruhe zum zweiten Mal geprüft.
·——· erste, ×– – – – × zweite Prüfung.

Versuchen mit 1—63tägiger Pause zwischen beiden Belastungsreihen ist die Hebung von σ'_s für alle 4 Reihen annähernd gleich groß und größer als bei sofortiger nochmaliger Prüfung; ferner nimmt sie bis zu $V_s \leqq 22\,\%$ zu, wenn auch bei $V_s > 10\,\%$ nur noch in geringem Maße.

4. Die Bruchfestigkeit. Die Verhältnißzahlen, nach denen die Schaulinien für σ'_B/σ_B (Fig. 15) verzeichnet wurden, sind, wie schon oben erwähnt wurde, unter Zugrundelegung der mittleren Festigkeit (40,8 kg/qmm) der 3 Stäbe 1, 9 und 17 berechnet. Die Einzelbeobachtungen weichen von diesem Mittelwerth um $-2{,}3$; $+1{,}9$ und $+0{,}5$ Einheiten ab.

Berücksichtigt man diese Abweichungen, so ergiebt sich aus den Verhältnißzahlen für σ'_B/σ_B, daß geringe Vorstreckung um 0,2 — 0,5 % der ursprünglichen Länge die Bruchfestigkeit der Stäbe nicht nennenswerth be-

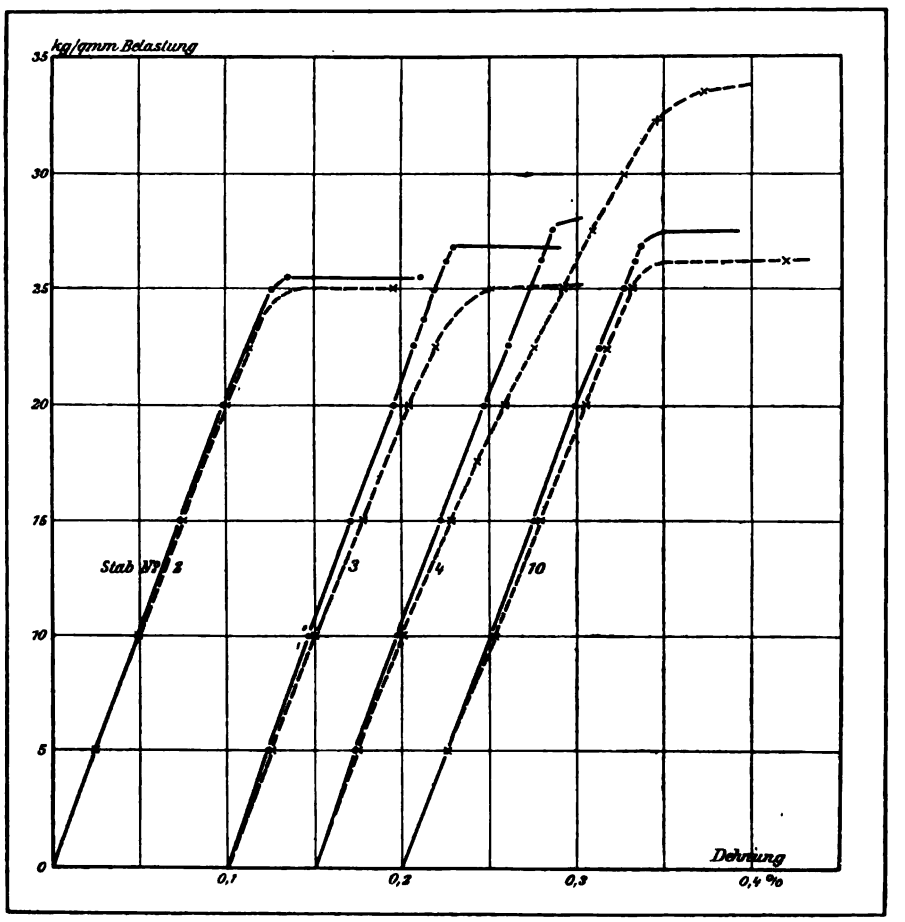


Fig. 21. Schaulinien für dieselben Stäbe im Anlieferungszustande und nach dem Vorstrecken.

·——· Anlieferungszustand, × — — — × vorgestreckt.

Betrag der Vorstreckung Stab Nr. 2 = 0,2 %; 3 = 2,0 %; 4 = 5,0 %; 10 = 0,55 %.

Stab 2, 3 und 4 sofort, Stab 10 nach 24 Stunden zum zweiten Mal geprüft.

einflußte. Durch größere Vorstreckung wurde die Bruchfestigkeit gehoben. Die Mittelwerthe aus allen 5 Reihen sind:

Vorstreckung in % ≘: 0,2 — 2,0 — 5,0 — 10,0 — 14,0 — 18,0 — 22,0

Bruchspannung kg/qmm: 41,2 — 42,6 — 44,4 — 46,1 — 47,1 — 47,8 — 47,6

Hiernach erreichte die Steigerung von σ_B ihren Höchstwerth durch die Vorstreckung um etwa 14 % und blieb dann konstant.

Der Verlauf des Einflusses der Zeit zwischen beiden Belastungsreihen tritt nicht deutlich zu Tage. Zu erkennen ist nur, daß bei sofortiger nochmaliger Prüfung die geringsten und nach 21tägiger Pause die größten Werthe für σ'_B gefunden wurden.

5. Die Bruchdehnung der Stäbe hat durch das Vorstrecken im Allgemeinen abgenommen. Bei sofortiger nochmaliger Prüfung und eintägiger Pause schritt die Abnahme mit wachsender Vorstreckung fort bis zu $V_s = 17,8$

und 13,5 %; bei siebentägiger Pause war sie für alle Werthe von V_s annähernd gleich groß. Bei 21- und 63tägiger Pause dagegen lieferte $V_s = 2—3\%$ die geringsten Dehnungen, dann nahm die Dehnung mit wachsendem V_s wieder beständig zu und ging schließlich über den Mittel-Werth für die im Anlieferungszustande zerrissenen Stäbe hinaus.

Ich unterlasse es für diese eigenartige Erscheinung eine Erklärung zu versuchen, möchte aber doch hervorheben, daß m. E. bei der Gesetzmäßigkeit, mit der sie auftritt, Zufälligkeiten hierbei außer Spiel sein dürften.

β) Verhältniß der erstmaligen Höchstspannung zur späteren P-Grenze und S-Grenze der Stäbe.

Die Werthe für das Verhältniß der erstmaligen Höchstspannung σ_{max} zur späteren P-Grenze (σ'_P) und S-Grenze (σ'_S) der vorgestreckten Stäbe sind ebenfalls aus Tab. 6 zu ersehen. Die in ( ) gesetzten Werthe sind unzuverlässig, weil σ'_P bei den zugehörigen Stäben nicht mit Sicherheit bestimmt werden konnte.

Läßt man diese Werthe und diejenigen für Stab 20 und 37[1]) außer Betracht, so ergeben sich die mittleren Verhältnisse von σ'_P zu σ_{max} bei sofortiger nochmaliger Prüfung zu 56 %, nach eintägiger Pause zwischen beiden Reihen zu 84 %, nach 7 Tagen zu 97 %, nach 21 Tagen zu 100 % und nach 63 Tagen zu 106 %.

Diese Verhältnißzahlen (s. auch Fig. 22) lassen erkennen, daß die P-Grenze der vorgestreckten Stäbe sich bei längerem Liegen immer mehr der beim Vorstrecken angewendeten Höchstspannung näherte und letztere nach 21 Tagen erreicht hat.

Nach 63 Tagen wurde σ'_P höher gefunden als σ_{max}; hierbei ist aber zu beachten, daß das σ_{max} der Stäbe 35—38 auffallend gering ist gegenüber dem σ_{max}, welches bei den übrigen Stäben zur gleichen Vorstreckung angewendet werden mußte.

Die Verhältnißzahlen für σ'_S zu σ_{max} nehmen anfänglich mit der Vorstreckung zu, bis sie (s. Fig. 22) für 5% und mehr Vorstreckung nahezu konstant werden. Sie betragen dann in den 5 Reihen mit verschieden langer Ruhepause 100, 111, 114, 115 und 116 %. Hieraus folgt:

daß die Streckgrenze der Stäbe besonders durch starkes Vorstrecken bis auf diejenige Last gehoben wurde, mit der gestreckt wurde. Blieben die Stäbe dann liegen, so stieg die Streckgrenze je nach der Dauer der Ruhe um 11—16 % über die voraufgegangene Belastung an.

Die in Abschnitt b niedergelegten Ergebnisse stimmen im Allgemeinen mit den folgenden Beobachtungen Bauschingers überein.

1. „Die Elasticitätsgrenze[2]) wird durch das Strecken (mit Belastungen oberhalb der Streckgrenze) herabgeworfen oft bis auf Null, sodaß die Probestücke, wenn sie unmittelbar nach dem Strecken und Entlasten wieder gemessen werden, gar keine oder eine bedeutend niedrigere

[1]) Beim Stabe 20 war σ_{max} 29,2 kg/qmm für 5 % Streckung gegenüber dem mitleren σ_{max} (34,8 kg/qmm) für das gleiche V_s bei den Stäben 4, 12, 27 und 34 auffallend gering und beim Stabe 37 fiel der Werth für σ'_P aus der Reihe, sodaß die für diese Stäbe berechneten Verhältnißzahlen als unzuverlässig angesehen werden mußten.

[2]) d. h. P-Grenze.

Elasticitätsgrenze haben. In der Zeit der Ruhe aber, die nach der auf das Strecken vorgenommenen Entlastung verstreicht, hebt sich die Elasticitätsgrenze wieder, erreicht nach mehreren Tagen die Belastung, mit welcher gestreckt wurde, und wird nach genügend langer Zeit, sicher nach mehreren Jahren, selbst über diese Belastung hinaus gehoben."

2. „Die Streckgrenze wird stets bis zu der Belastung hinaufgeworfen, mit welcher gestreckt wurde und zwar schon unmittelbar nach dem Strecken. In der Zeit der Ruhe aber, die nach der auf das Strecken vorgenommenen Entlastung verstreicht, hebt sich die Streckgrenze über jene Maximalbelastung, mit welcher gestreckt worden ist, hinaus und zwar ist

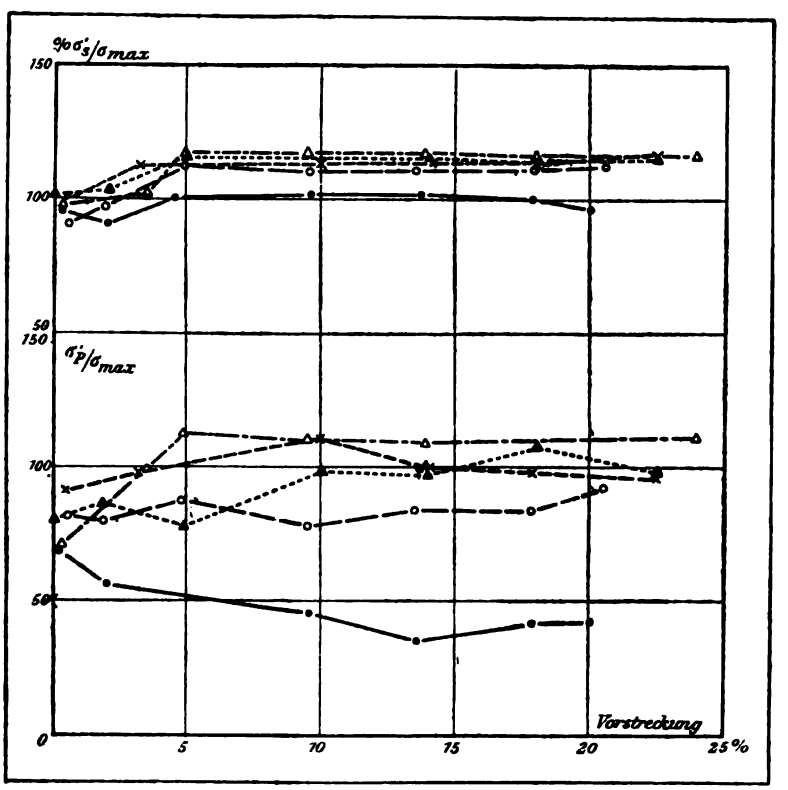


Fig. 22. Verhältniß der erstmaligen Höchstspannung zur späteren P- und S-Grenze.
Dauer zwischen dem Vorstrecken und der Prüfung:
•——•0, ○——○1; ×——×7; ▲·····▲21; Δ—·—Δ 63 Tage.

diese Hebung schon nach einem Tage sehr gut bemerkbar, dauert aber Wochen und Monate, vielleicht Jahre lang fort."

Die Bauschingerschen Beobachtungen dürften aber durch die meinigen dahin ergänzt werden können, daß das Herunterdrücken der Proportionalitätsgrenze sofort nach dem Strecken mit wachsendem Betrage des Streckens zunächst ($V_s = 0$ bis 10 %) zunimmt und dann bei stärkerem Strecken wieder abnimmt.

c) Einfluß des Vorstreckens auf die Festigkeitseigenschaften des Materials.

Die Beobachtungswerthe, bezogen auf die Abmessungen (Querschnitt und Länge) der Stäbe nach dem Vorstrecken, sind in Tab. 8 zusammengestellt. Zugleich sind ihnen Verhältniß-

zahlen angefügt, welche die Veränderungen der Festigkeitseigenschaften des Materials durch das Vorstrecken, sowie das Verhältniß der höchsten Belastung beim Vorstrecken (σ_{max}) zur späteren P-Grenze (σ''_P) und Streckgrenze (σ''_S) erkennen lassen.

α) Beziehungen zwischen den Festigkeitseigenschaften des Materials vor und nach dem Strecken.

Aus den Verhältnißzahlen Tab. 8 und den nach ihnen in Figur 23 verzeichneten Schaulinien ergiebt sich Folgendes:

1. Die Dehnungszahl α'' (s. Tab. 8) zeigt in derselben Versuchsreihe d. h. bei gleicher Dauer der Entlastung zwischen beiden Belastungsreihen für alle sieben Grade der Vorstreckung (von 0,2—24 %) nahezu konstante Werthe. Im Mittel betragen die letzteren

bei Entlastungsdauer in Tagen:

0	1	7	21	63
% des ursprünglichen Werthes:				
[106] 101	102	102	97	

Hiernach ist die Dehnbarkeit des **Materials** innerhalb der P-Grenze durch das Vorstrecken nur unwesentlich verändert. Ob die bei kurzer Entlastungsdauer beobachtete geringe Zunahme der Dehnungszahl bei längerer Entlastungsdauer in geringe Verminderung der Dehnbarkeit übergeht, wie es scheint, bedarf der Bestätigung durch weitere Versuche. Die Zunahme der Dehnungszahl α' des Stabes mit wachsender Vorstreckung (s. S. 25 Satz 1) dürfte demnach lediglich eine Folge der Querschnittsverminderung

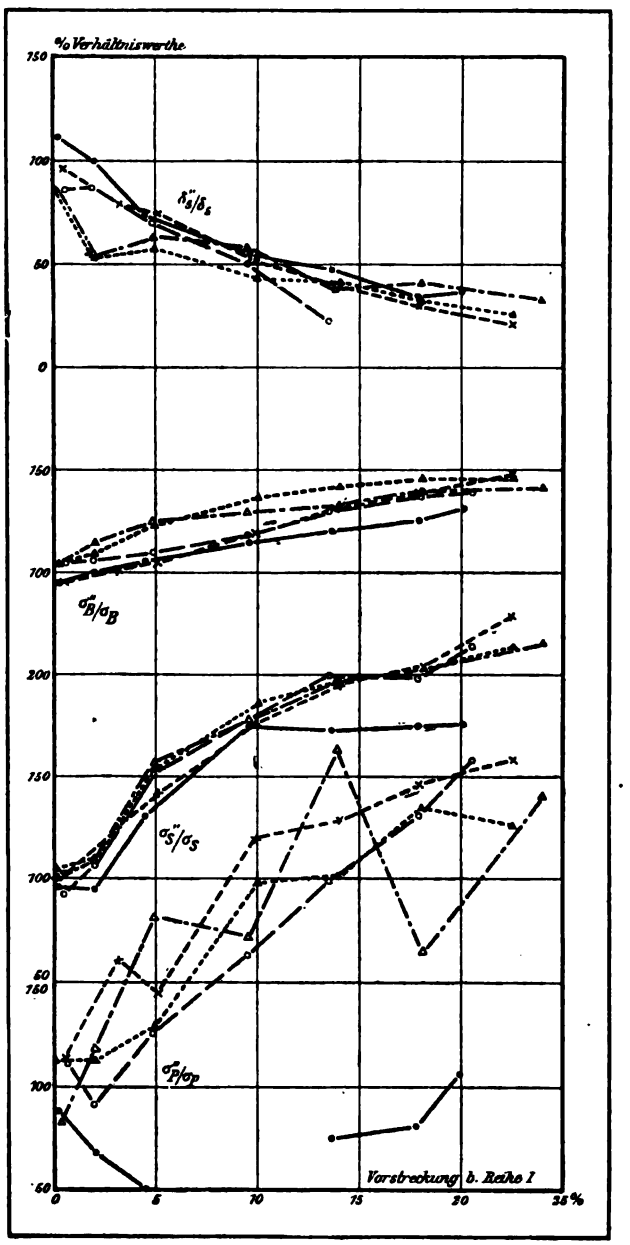


Fig. 23. Einfluß des Vorstreckens auf die Festigkeitseigenschaften des Materials.

· ——— · sofort wieder belastet,
○ — — — ○ 1 Tag
× - - - - × 7 Tage
▲ ····· ▲ 21 „
△ —·— △ 63 „
} Dauer zwischen beiden Belastungsreihen.

durch das Vorstrecken sein, da α' unter Zugrundelegung der ursprünglichen Abmessungen der Stäbe berechnet wurde.

2. Die P-Grenze σ''_P (s. Fig. 23) fand sich bei sofortiger nochmaliger Prüfung durch 4,5 % Vorstreckung bis auf Null und im Uebrigen um 12—22 % heruntergedrückt. Nur bei der größten Vorstreckung um mehr als 20 % lag sie höher als ursprünglich. Bei längerem Entlasten hob sich die P-Grenze und zwar um so höher, je mehr der Stab vorgestreckt war.
3. Die Streckgrenze σ''_S war (von drei Stäben abgesehen) bei allen Versuchsreihen durch das Vorstrecken gehoben. Die Dauer der Ruhe nach dem Vorstrecken erwies sich nur insofern von Einfluß, als die Erhebung der Streckgrenze bei sofortiger nochmaliger Prüfung geringer war, als bei den übrigen 4 Reihen mit unter sich annähernd gleichem Ergebniß.

   Um den Verlauf der Dehnung mit wachsender Spannung darzuthun, sind die Ergebnisse der Dehnungsmessungen für das vorgestreckte Material in Fig. 24 zu Schaulinien aufgetragen. Aus ihnen ergiebt sich im Vergleich mit Fig. 14,

   daß der im ursprünglichen Zustande oberhalb der Streckgrenze vorhandene ausgeprägte Knick (starkes Strecken unter gleichbleibender Spannung) schon durch das Vorstrecken um 0,2—0,5 % zurückgedrängt wurde und nach dem Vorstrecken um etwa 2 % verschwunden war. Das Fehlen des Knickes (Streckens) bei vorgestrecktem Material fand auch Unwin [1]). Bei den vorliegenden Versuchen stellte er sich aber nach stärkerem Vorstrecken wieder ein.

   Ob auch die Zeit der Ruhe zwischen beiden Belastungsreihen auf die Erneuerung des Fließvermögens von bestimmtem Einfluß ist, läßt sich aus diesen Versuchen nicht mit Sicherheit ersehen [2]).
4. Für die Bruchspannung σ''_B des Materials gilt das unter Abschnitt b α 4 für σ'_B der Stäbe Gesagte; nur tritt die Festigkeitszunahme mit wachsender Vorstreckung wegen Abnahme des Querschnittes bei σ''_B mehr hervor.
5. Die Bruchdehnung nahm mit wachsender Vorstreckung ab, aber nicht proportional zur letzteren, sondern bei größerer Vorstreckung verhältnißmäßig weniger als bei geringerer Vorstreckung.

β) Verhältniß der größten Spannung (σ_{max}) beim Vorstrecken zur P-Grenze (σ''_P) und S-Grenze (σ''_S) des Materials nach dem Vorstrecken.

Die Verhältnißzahlen für die Spannungen σ''_P und σ''_S an der P-Grenze und Streckgrenze des vorgestreckten Materials zur Höchstspannung (σ_{max}) beim Vorstrecken sind in

---

[1]) Unwin: »On the Yield point of iron and steel and the effect of repeated straining and annealing.« Proc. of the Royal Society. Vol. 57, S. 178. (s. S. 2).

[2]) Aus einer Arbeit von Galy-Aché, die nach Abschluß meiner Untersuchung in Compt. rend. 1899. S. 382 im Auszuge erschienen ist, entnehme ich, daß Eisen-Cylinder, die ausgeglüht und langsam erkaltet bei Druckbelastung deutlich ausgeprägte Quetschgrenze (Knick in der Schaulinie) zeigten, keine Quetschgrenze mehr besaßen, wenn sie nach Ueberschreitung der ursprünglichen Quetschgrenze entlastet und sofort zum zweiten Mal belastet wurden; daß aber der Knick in der Schaulinie wieder eintrat, wenn die Proben bis zur zweiten Belastung zunächst einige Stunden entlastet geblieben waren.

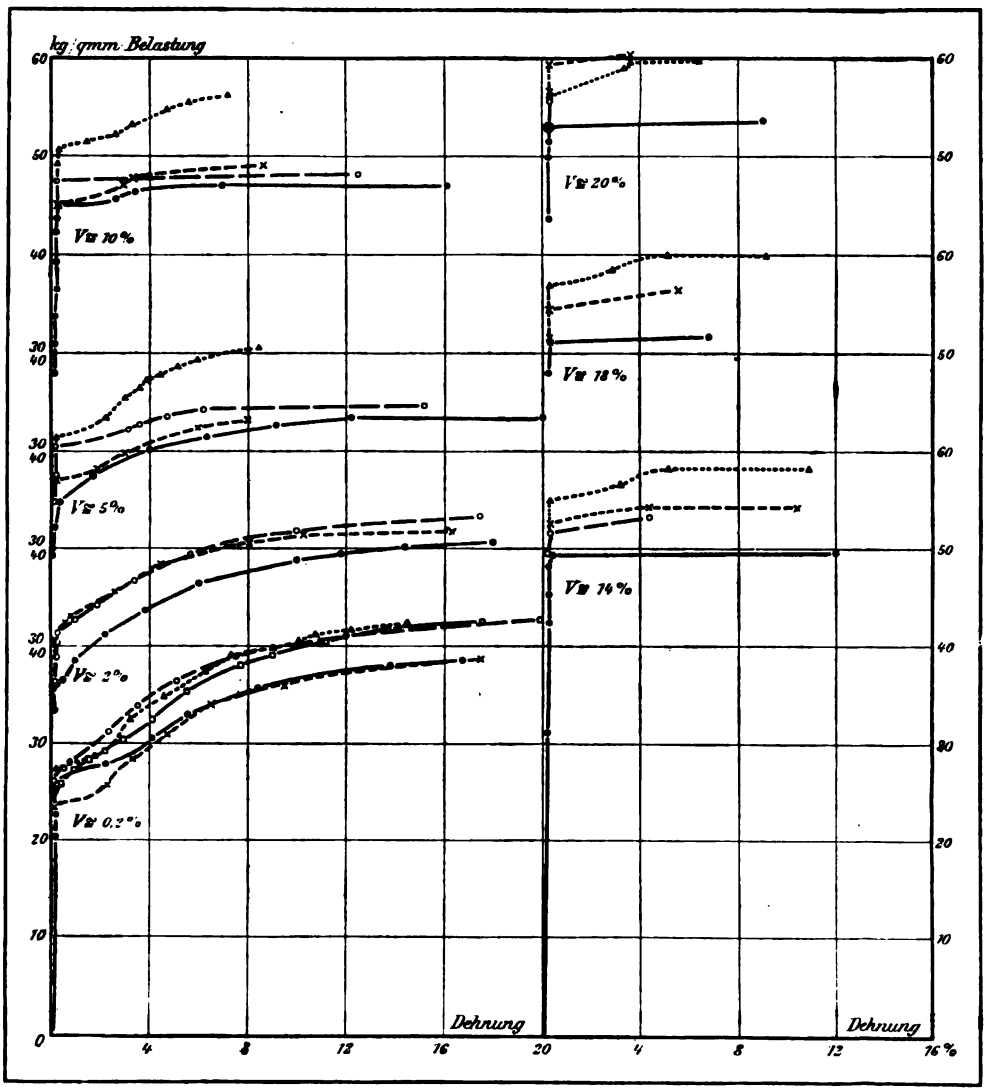


Fig. 24. Einfluß des Vorstreckens (V_s) auf den Verlauf der Dehnung des Materials mit wachsender Belastung.

Die Spannungen sind auf den Querschnitt (f) nach dem Vorstrecken bezogen.

• ——— • sofort wieder belastet,
○ — — ○ 1 Tag
× – – – × 7 Tage
▲ ····· ▲ 21 „
} Dauer zwischen beiden Belastungsreihen.

den beiden letzten Spalten der Tab. 8 angegeben und in Fig. 25 zu Schaulinien aufgetragen. Hierbei sind die unsicheren Werthe ebenso wie unter Abschnitt b β außer Acht gelassen.

Aus dem Verlauf der Schaulinien ergiebt sich Folgendes:

Die Proportionalitätsgrenze blieb bei sofortiger nochmaliger Belastung, sofern sie bei dieser Reihe überhaupt vorhanden war, hinter der voraufgegangenen Höchstspannung weit zurück.

Bei längerer Entlastungsdauer hob sich die P-Grenze, wie oben bereits besprochen wurde. Dieses Anheben erfolgte derart, daß σ''_P schon nach 7 Tagen (Lage der Schaulinien oberhalb der Ordinate 100) um 20 % über σ_{max} hinausging. Längeres Entlasten blieb ohne wesentlichen Einfluß und die Wirkung der Größe des Vorstreckens tritt wegen der Unregelmäßigkeit der Werthe nicht deutlich hervor. Der größte Einfluß scheint mit $V_s = 10$ % erreicht zu sein.

Die Streckgrenze σ''_S blieb nur bei einigen, wenig vorgestreckten Stäben hinter σ_{max} zurück. Im Uebrigen war $\sigma''_S > \sigma_{max}$ und zwar umsomehr, je länger die Entlastung gewährt hatte. Die Erhebung von σ''_S über σ_{max} erfolgte mit wachsender Vorstreckung (V_s) bis zu 5 % sehr schnell und von da ab langsamer aber mit V_s annähernd proportional.

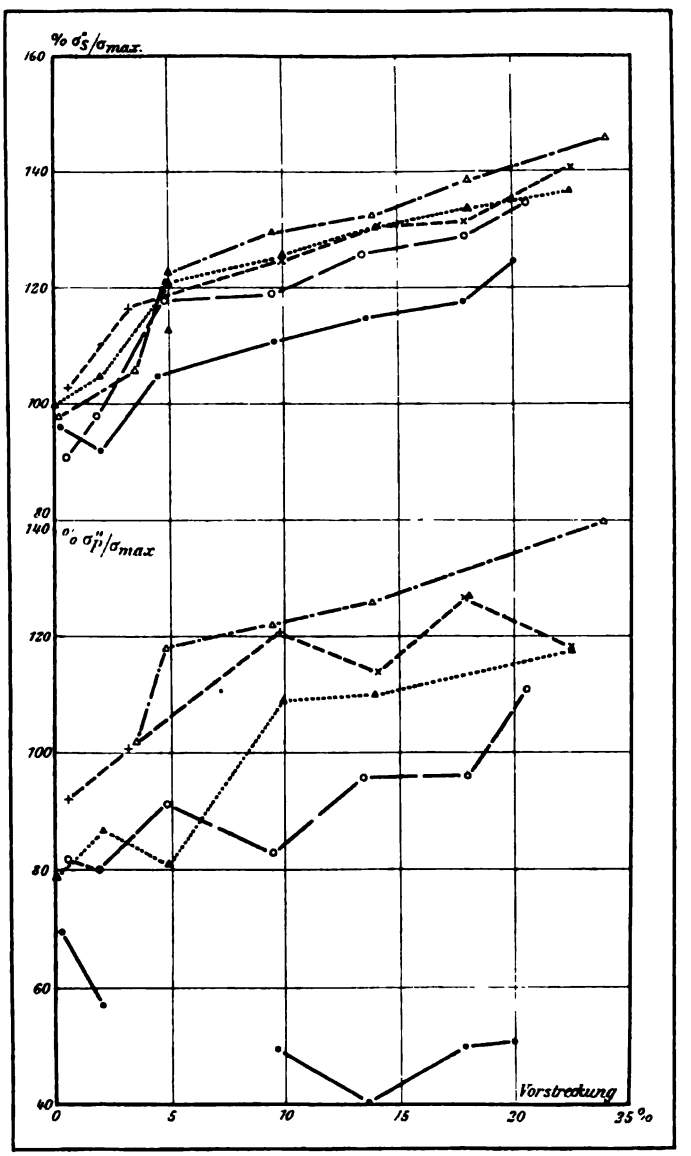


Fig. 25. Verhältniß der größten Spannung (σ_{max}) beim Vorstrecken zur nachherigen Proportionalitäts- (σ''_P)- und Streckgrenze (σ''_S) des Materials.

· ——— · sofort wieder belastet,
○ — — ○ 1 Tag
× - - - - × 7 Tage
▲ ····· ▲ 21 „
Δ — · — Δ 63 „
} Dauer zwischen beiden Belastungsreihen.

2. Versuche über den Einfluß des Biegens und Richtens auf die Festigkeitseigenschaften des Materials.

(s. Abschnitt I S. 9 und II S. 13.)

a) Längenänderungen in Folge Biegens und Richtens.

Aus den in Tab. 9 zusammengestellten Beobachtungen ergiebt sich:

1. daß in Folge des Kalt-Biegens die Dehnungen auf der Zugseite um Weniges größer waren als die Verkürzungen auf der Druckseite. Nach dem Verlauf der Schaulinien A Fig. 26 waren die Längen-

Tabelle 9. Längenänderungen von Flachstäben in Folge Biegens nach verschiedenen Halbmessern und Wiederrichtens.

Stab Nr.	Zurichtung: Art	Zurichtung: Halbmesser Gebogen nach mm	Meßlänge: auf Außenseite des Bogens (Zugseite): ursprünglich mm	auf Außenseite: in gebogenem Zustande mm	auf Außenseite: nach dem Richten mm	auf Innenseite des Bogens (Druckseite): ursprünglich mm	auf Innenseite: in gebogenem Zustande mm	auf Innenseite: nach dem Richten mm	Längenänderungen in % in Folge des: Biegens: Zugseite	Biegens: Druckseite	Richtens: ursprüngliche Zugseite	Richtens: ursprüngliche Druckseite	Biegens und Richtens: ursprüngliche Zugseite	Biegens und Richtens: ursprüngliche Druckseite	Mittel
40	Kalt gebogen, hierauf ausgeglüht und kalt gerichtet	503	280,2	283,9	280,6	280,3	276,9	280,3	+ 1,3	— 1,2	— 1,2	+ 1,2	+ 0,14	± 0,0	+ 0,07
49		504	280,3	283,8	280,7	280,3	277,1	280,3	+ 1,2	— 1,1	— 1,1	+ 1,2	+ 0,14	± 0,0	+ 0,07
58		518	280,2	283,9	280,6	280,2	277,0	280,2	+ 1,3	— 1,1	— 1,2	+ 1,2	+ 0,14	± 0,0	+ 0,07
Mittel		508	280,2	283,9	280,6	280,3	277,0	280,3	+ 1,3	— 1,1	— 1,2	+ 1,2	+ 0,14	± 0,0	+ 0,07
41		304	280,8	287,0	280,9	280,2	274,3	280,6	+ 2,2	— 2,1	— 2,1	+ 2,3	+ 0,04	+ 0,14	+ 0,09
50		303	280,1	286,5	280,5	280,3	274,1	280,6	+ 2,3	— 2,2	— 2,1	+ 2,4	+ 0,14	+ 0,11	+ 0,13
59		301	280,1	286,3	280,5	280,7	274,1	280,8	+ 2,2	— 2,3	— 2,0	+ 2,4	+ 0,14	+ 0,04	+ 0,09
Mittel		308	280,3	286,6	280,6	280,4	274,2	280,7	+ 2,2	— 2,2	— 2,1	+ 2,4	+ 0,11	+ 0,10	+ 0,10
42		209	280,1	289,5	280,7	280,2	271,3	281,0	+ 3,4	— 3,2	— 3,1	+ 3,6	+ 0,21	+ 0,28	+ 0,25
51		211	280,3	289,2	280,8	280,1	271,4	280,9	+ 3,2	— 3,1	— 2,9	+ 3,5	+ 0,18	+ 0,28	+ 0,23
60		206	280,3	289,6	280,7	280,2	271,4	280,9	+ 3,3	— 3,1	— 3,1	+ 3,5	+ 0,14	+ 0,25	+ 0,20
Mittel		209	280,2	289,4	280,7	280,2	271,4	280,9	+ 3,3	— 3,1	— 3,0	+ 3,5	+ 0,18	+ 0,27	+ 0,23
43		181	280,1	290,4	280,7	280,3	270,1	280,8	+ 3,7	— 3,6	— 3,3	+ 4,0	+ 0,21	+ 0,18	+ 0,20
52		179	280,1	290,4	280,6	280,0	270,0	280,5	+ 3,7	— 3,6	— 3,4	+ 3,9	+ 0,18	+ 0,18	+ 0,18
61		180	280,3	290,9	—	280,3	270,0	280,7	+ 3,8	— 3,7	—	+ 4,0	—	+ 0,14	—
Mittel		180	280,2	290,6	280,7	280,2	270,0	280,7	+ 3,7	— 3,6	— 3,4	+ 4,0	+ 0,20	+ 0,17	+ 0,19
44	Kalt gebogen, hierauf kalt gerichtet	512	280,2	283,5	280,3	280,2	277,1	280,5	+ 1,2	— 1,1	— 1,1	+ 1,2	+ 0,04	+ 0,11	+ 0,08
53		513	280,3	283,5	280,4	280,2	277,0	280,4	+ 1,1	— 1,1	— 1,1	+ 1,2	+ 0,04	+ 0,07	+ 0,04
62		520	280,6	283,9	280,6	280,1	277,0	280,3	+ 1,2	— 1,1	— 1,2	+ 1,2	± 0,00	+ 0,07	+ 0,04
Mittel		515	280,4	283,6	280,4	280,2	277,0	280,4	+ 1,2	— 1,1	— 1,1	+ 1,2	+ 0,03	+ 0,08	+ 0,05
45		179	280,3	290,9	280,8	280,3	270,2	280,8	+ 3,8	— 3,6	— 3,5	+ 3,9	+ 0,18	+ 0,17	+ 0,18
54		179	280,3	290,5	280,9	280,0	270,0	280,5	+ 3,6	— 3,6	— 3,3	+ 3,9	+ 0,21	+ 0,18	+ 0,19
63		179	280,2	290,9	280,8	280,2	269,9	280,6	+ 3,8	— 3,7	— 3,5	+ 4,0	+ 0,21	+ 0,14	+ 0,18
Mittel		179	280,3	290,8	280,8	280,2	270,0	280,6	+ 3,7	— 3,6	— 3,4	+ 3,9	+ 0,20	+ 0,16	+ 0,18
46	Kalt gebogen, hierauf kalt gerichtet	500	280,2	283,5	280,1	280,1	277,1	280,4	+ 1,2	— 1,1	— 1,2	+ 1,2	- 0,04	+ 0,11	+ 0,03
55		521	280,3	283,9	280,4	280,1	276,8	280,2	+ 1,3	— 1,2	— 1,2	+ 1,2	+ 0,04	+ 0,04	+ 0,04
64		529	280,2	283,5	280,5	280,2	277,0	280,4	+ 1,2	— 1,1	— 1,1	+ 1,2	+ 0,11	+ 0,07	+ 0,09
Mittel		517	280,2	283,6	280,3	280,1	277,0	280,3	+ 1,2	— 1,1	— 1,2	+ 1,2	+ 0,04	+ 0,07	+ 0,05
47		181	280,0	290,3	280,5	280,2	270,4	280,8	+ 3,7	— 3,5	— 3,4	+ 3,9	+ 0,18	+ 0,21	+ 0,20
56		181	280,3	291,1	281,0	280,0	269,8	280,5	+ 3,9	— 3,6	— 3,4	+ 4,0	+ 0,25	+ 0,18	+ 0,22
65		181	280,1	290,8	281,0	280,2	270,1	280,9	+ 3,8	— 3,6	— 3,4	+ 4,0	+ 0,32	+ 0,25	+ 0,29
Mittel		181	280,1	290,7	280,8	280,1	270,1	280,7	+ 3,8	— 3,6	— 3,4	+ 4,0	+ 0,25	+ 0,21	+ 0,24

änderungen den Biegungshalbmessern nicht umgekehrt proportional sondern bei kleineren Biegungshalbmessern verhältnißmäßig größer.

2. Beim Kalt-Richten[1]) waren die Streckungen auf der ursprünglichen Druckseite größer als die Verkürzungen auf der ursprünglichen Zugseite.

[1]) Die angegebenen procentuellen Längerungen sind auf die an den gebogenen Stäben festgestellten Meßlängen bezogen.

3. Der gesammte Einfluß des Biegens und Richtens äußerte sich auf beiden Seiten in bleibenden Dehnungen (s. Linien B Fig. 26).

Die mittlere Dehnung betrug:

für den Biegungshalbmesser von rund	500	300	200 und 180	mm
bei den geglühten[1]) Stäben . . .	0,07	0,10	0,23 „ 0,19	%
bei den nichtgeglühten Stäben . .	0,05	—	— „ 0,21	%

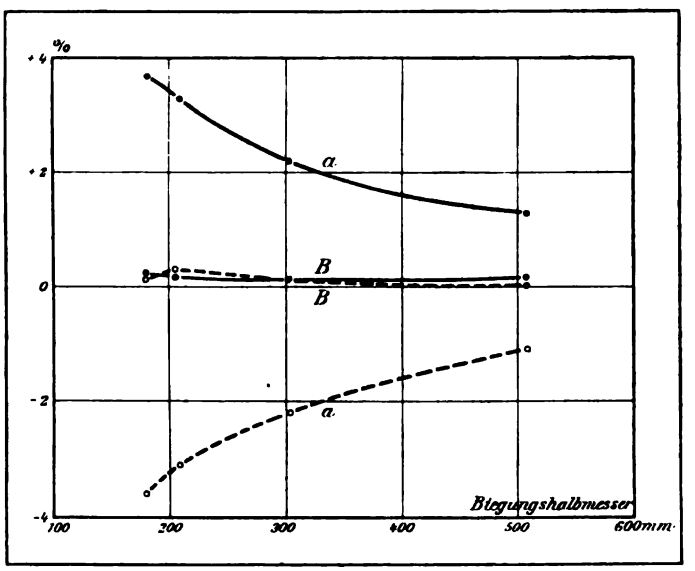


Fig. 26. Längenänderungen beim Biegen nach verschiedenen Halbmessern und Wiedergeraderichten.

——— Zugseite; ● am gebogenen Stabe.
– – – – Druckseite; ○ „ gerichteten „

Die Streckung der Stäbe in Folge Biegens und Richtens nahm hiernach mit abnehmendem Biegungshalbmesser zu. Durch Ausglühen der gebogenen Stäbe vor dem Richten erscheint die bleibende Streckung nicht beeinflußt.

b) Die Veränderungen der Festigkeitseigenschaften.

Die mit Martens'schen Spiegelapparaten ermittelten Werthe für den Dehnungszuwachs bei Steigerung der Belastung in Stufen von je 1000 kg sind in Tab. 10 zusammengestellt und nach den Mittelwerthen[2]) die Schaulinien Fig. 27 verzeichnet. Die Lage der Proportionalitätsgrenze ist durch kleine Kreise gekennzeichnet. Bei den Reihen A und D d. h. für das ungeglühte Material und für die nach dem Biegen und Richten ausgeglühten Stäbe ist die Proportionalitätsgrenze gut ausgeprägt. Bei der Reihe B mit den ungebogenen aber geglühten Stäben liegt die P-Grenze nach den Dehnungen der Stäbe 39 und 57 (s. Tab. 10) bei 6 t; der Stab 48 zeigte überhaupt keine ausgeprägte Proportionalität. In Folge dessen scheint die P-Grenze nach den Mittelwerthen bei 4 t zu liegen, ich habe aber geglaubt sie nach dem Ergebniß der beiden erstgenannten Versuche bei 6 t annehmen zu sollen.

Bei der Reihe E ist die Lage der P-Grenze unsicher und bei der Reihe C konnte überhaupt keine P-Grenze wahrgenommen werden.

Beachtenswerth erscheint mir bei diesen beiden Reihen und auch bei vielen der übrigen Versuche mit den gerichteten Stäben, daß gleiche Laststufen anfänglich größeren

[1]) d. h. vor dem Richten geglüht.

[2]) Die mittleren Stabquerschnitte schwanken zwischen 388 und 407 qmm. Die beobachteten Dehnungsstufen für je 1000 kg Laststeigerung können daher nicht unmittelbar in Vergleich gestellt werden. Sie sind hierzu bei allen 5 Reihen (A — E) auf 400 qmm Querschnitt umgerechnet und am Fuß der Tab. 1 angegeben. Die Schaulinien Fig. 27 sind nach den umgerechneten Werthen aufgetragen.

Tabelle 10. Einfluß des Biegens und Richtens auf den Verlauf der Dehnung.

Stab Nr.	Zustand	Gebogen nach dem Halbmesser mm	Querschnitt qmm	Dehnungszuwachs in 0,0001 mm auf 150 mm Meßlänge für je 1 t Laststeigerung bei den folgenden Belastungen: 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 t
Mittel aus 33 Versuchen	**A Anlieferungszustand (nicht geglüht)**	**nicht gebogen**	**396**	—	**186**	**189**	**189**	**189**	**189**	**189**	**191**	**198**	—		
39	B geglüht	nicht gebogen	404	198	188	193	189	185	187	196	225	219			
48			396	188	193	(129)	196	217	222	250	329	870	—		
57			403	184	189	(293)	184	187	186	175	188	191			
Mittel			**401**	**190**	**190**	**[195]**	**190**	**196**	**198**	**227**	**247**	**427**	—		
40	C kalt gebogen, dann ausgeglüht und kalt gerichtet	503	403	206	198	194	199	212	249	340	590	4365			
49		504	393	208	194	214	267	328	428	545	825	2565	—		
58		518	397	202	198	200	203	206	224	298	459	2161			
Mittel		**508**	**398**	**205**	**197**	**203**	**223**	**249**	**300**	**394**	**625**	**3030**	—		
41		304	401	208	189	186	191	202	221	267	405	1815	6550		
50		303	395	180	140	180	190	210	239	315	525	1551	7390		
59		301	404	170	158	187	183	199	241	309	518	1340	4580		
Mittel		**308**	**400**	**186**	**162**	**184**	**188**	**204**	**234**	**297**	**483**	**1569**	**6178**		
42		209	403	176	167	177	187	194	219	263	346	549	2590		
51		211	391	184	176	181	191	191	213	245	322	587	3502		
60		206	409	164	176	186	183	191	192	205	238	347	1325		
Mittel		**209**	**401**	**175**	**173**	**181**	**187**	**192**	**208**	**238**	**302**	**494**	**2472**		
43		181	397	184	184	186	203	205	219	251	298	497	2115		
52		179	395	182	181	190	188	203	216	244	305	474	1113		
61		180	391	192	188	162	190	201	209	233	301	615	2820		
Mittel		**180**	**394**	**186**	**184**	**179**	**194**	**203**	**215**	**243**	**301**	**529**	**2016**		
44	D kalt gebogen, dann kalt gerichtet und ausgeglüht	512	390	182	173	186	187	188	184	202	309	750			
53		513	394	186	179	177	182	186	188	197	277	1491			
62		520	409	180	186	182	(154)	183	180	180	187	188	180		
Mittel		**515**	**398**	**183**	**179**	**182**	**184**	**186**	**184**	**193**	**258**	**810**			
45		179	395	176	176	194	192	174	181	175	180	179	193		
54		179	393	200	218	198	206	221	255	415	605	1167			
63		179	403	186	184	177	181	176	179	179	180	182	168		
Mittel		**179**	**397**	**187**	**193**	**190**	**196**	**190**	**205**	**256**	**322**	**509**			
46	E kalt gebogen, dann kalt gerichtet	500	403	194	184	187	185	180	187	224	215	243	329	609	
55		521	410	172	181	206	196	183	180	178	191	212	356	4933	
64		529	407	196	183	212	187	188	190	186	191	213	255	339	
Mittel		**517**	**407**	**187**	**183**	**202**	**189**	**184**	**186**	**196**	**199**	**223**	**313**	**1960**	
47		181	401	208	211	197	193	188	196	185	207	207	231	247	304
56		181	405	180	172	181	181	190	193	192	201	201	219	265	500
65		181	399	204	223	190	203	178	193	192	201	200	208	234	272
Mittel		**181**	**402**	**197**	**202**	**189**	**192**	**185**	**194**	**190**	**203**	**203**	**219**	**249**	**359**
Mittelwerthe umgerechnet auf 400 qmm Querschnitt	A	nicht gebogen	400	—	184	187	187	187	187	187	189	196	—	—	—
	B			191	191	194	191	197	199	208	248	428	—	—	—
	C	508		204	196	202	222	247	298	392	623	3010	—	—	—
		303		186	162	184	188	204	234	297	483	1569	6173	—	—
		209		176	174	182	188	193	209	239	303	495	2480	—	—
		180		184	182	177	192	201	212	240	298	526	1990	—	—
	D	515		182	178	181	183	185	183	191	256	803	—	—	—
		179		186	192	189	192	189	204	255	321	507	—	—	—
	E	517		190	186	206	192	187	189	200	208	227	318	2000	—
		181		198	208	190	193	186	195	191	204	204	220	250	361

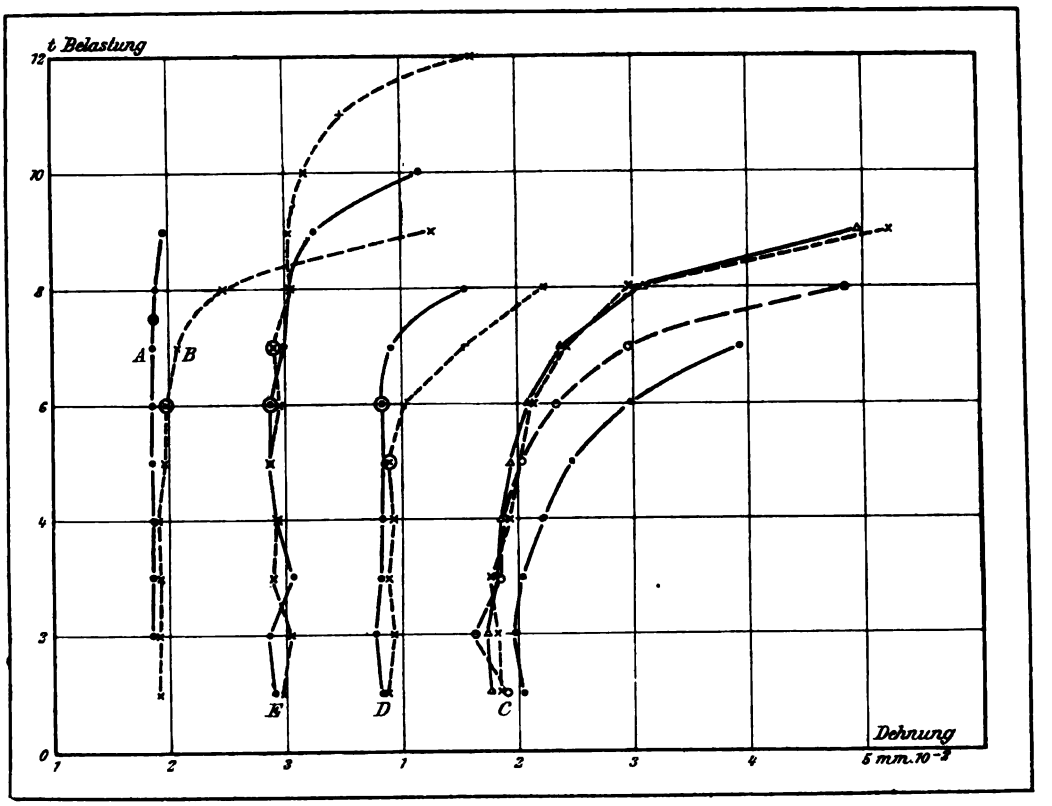


Fig. 27. Einfluß des Biegens und Richtens auf den Verlauf der Dehnung.

A: ungeglüht; B: ausgeglüht, beide ungebogen.
C: kalt gebogen, ausgeglüht, kalt gerichtet;
D: kalt gebogen, kalt gerichtet, ausgeglüht;
E: kalt gebogen, kalt gerichtet.

•———• r_1 = 500 mm
○——○ r_2 = 300 „
△——△ r_3 = 200 „
×——× r_4 = 180 „

Dehnungszuwachs ergaben als bei höheren Belastungen. Die Erklärung hierfür möchte ich in Folgendem suchen.

Wird ein Stab auf Biegung beansprucht, so entstehen bekanntlich auf der einen Seite, gerechnet von der neutralen Faserschicht, Zugspannungen, auf der anderen Druckspannungen. Solange die Belastung innerhalb der Elasticitätsgrenze des Materials bleibt, nehmen die Zug- und Druckspannungen nach der Oberfläche hin proportional mit der Entfernung von der neutralen Faserschicht zu, sodaß ihre Vertheilung über den Stabquerschnitt durch Fig. 28 dargestellt werden kann, wenn die Entfernung der auf c d gelegenen Punkte von der Senkrechten a b die Größe der Spannungen in den einzelnen Schichten parallel zur Oberfläche bedeutet.

Sobald bleibende Verbiegung eintritt, ist die Elasticitätsgrenze und, wie bei den vorliegenden Versuchen, sogar die Streckgrenze des Materials überschritten. Diese Ueberschreitung erfolgt zuerst in den äußeren Schichten. In ihnen wächst dann die Spannung bei weiterem Biegen entsprechend dem Fließen des Materials unter gleichbleibender Spannung zunächst nicht weiter. Die Gesammtspannung ist daher nach der Linie e f Fig. 29 über den Stabquerschnitt vertheilt zu denken[1]).

[1]) Die Linie e f ist symmetrisch zur neutralen Schicht n n verzeichnet, indem zu Gunsten der einfacheren Darstellung angenommen ist, daß das Material sich gegen Zug- und Druckspannungen gleich verhält.

Wird ein derart verbogener Stab nun entlastet, so wirken die beim Belasten erzeugten elastischen Spannungen auf Geraderichten des Stabes hin. Hierbei erleiden die beim Biegen bis über die P-Grenze gestreckten äußeren Faserschichten Druckspannung und die gequetschten Schichten auf der anderen Seite Zugspannung. Im entlasteten Stabe bleiben also Spannungen zurück, deren Vertheilung über den Stabquerschnitt durch die punktirte Linie g k h Fig. 29 dargestellt werden kann[1]).

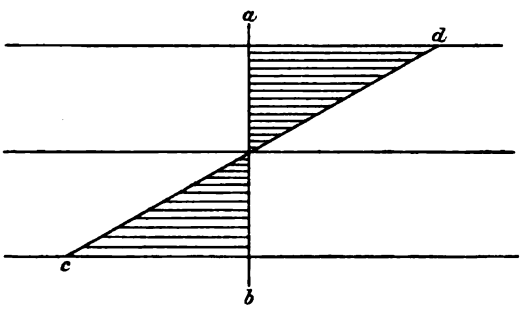


Fig. 28.

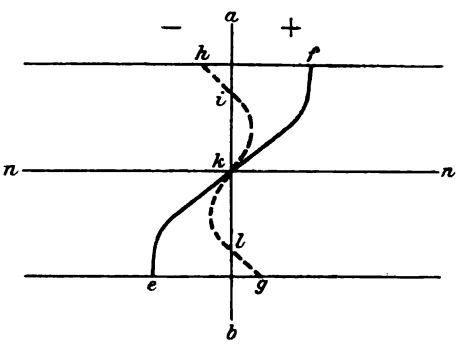


Fig. 29.

Diese Ausführungen für die Ueberführung des geraden Stabes in den gekrümmten Zustand gelten ebensowohl für das Richten eines krummen Stabes, sofern das Material des krummen Stabes in spannungsfreiem Zustande sich befand, was man von den Stäben der Reihe C, die nach dem Biegen und vor dem Kaltrichten ausgeglüht wurden, wohl annehmen darf.

Wird nun ein derartig gerichteter, mit inneren Spannungen nach der Linie g k h behafteter Stab einer Zugbelastung unterworfen, so wird die Zugbelastung anfänglich nur von den spannungsfreien Schichten und von den schon vom Richten her mit Zugspannungen behafteten Schichten aufgenommen, d. h. von dem Material zwischen den Punkten i k und l b. Das Material zwischen a i und k l kann dagegen erst dann von der ausgeübten Zugbelastung aufnehmen, wenn die ihm vom Richten her innewohnenden Druckspannungen durch die Dehnung des Stabes aufgehoben sind. Ob dies proportional der Dehnung erfolgt, möge dahin gestellt bleiben, jedenfalls ist aber anzunehmen, daß es allmählich geschieht. Daher ist die Schlußfolgerung wohl berechtigt, daß der Stabquerschnitt, welcher die Belastung beim Zugversuch mit einem gerichteten Stabe aufnimmt, mit wachsender Dehnung allmählich solange zunimmt, bis die vom Richten zurückgebliebenen inneren Druckspannungen beseitigt sind.

Wird die Zugbelastung in hinreichend kleinen Stufen gesteigert, so entfällt also die erste Laststufe auf einen kleineren Stabquerschnitt als die nächstfolgende. Hiermit dürfte aber erklärt sein, daß der Dehnungszuwachs für gleiche Laststufen mit zunehmender Gesammtlast abnahm, wie es bei den vorliegenden Versuchen beobachtet wurde.

Die Endergebnisse der Zugversuche mit den gebogenen und wieder gerichteten Stäben sind in Tab. 11 zusammengestellt und in Fig. 30 zu Schaulinien aufgetragen. Ferner sind

[1]) s. Wöhler „Versuche über die Festigkeit der Eisenbahnwagen-Achsen" Zeitschrift für Bauwesen 1863 S. 245.

Tabelle 11. Einfluß des Biegens und Richtens

Bemerkung: Die in ( ) stehenden Werthe sind unsicher, die in [ ]

Stab Nr.	Behandlung vor dem Zugversuch	Gebogen nach dem Halbmesser in mm	Mittlere Längenänderung % in Folge des Biegens außen mm	Mittlere Längenänderung % in Folge des Biegens innen mm	Mittlere Längenänderung % nach dem Richten außen mm	Mittlere Längenänderung % nach dem Richten innen mm	Querschnitt qmm
1	A						396
9	Anlieferungszustand		—	—	—	—	392
17	(nicht geglüht)						375
Mittel		nicht gebogen					388
39	B						404
48			—	—	—	—	396
57	geglüht						403
Mittel							401
40		503	+ 1,3	− 1,2	+ 0,14	± 0,0	403
49		504	+ 1,2	− 1,1	+ 0,14	± 0,0	393
58		518	+ 1,3	− 1,1	+ 0,14	± 0,0	397
Mittel		508	+ 1,3	− 1,1	+ 0,14	± 0,0	398
41	C	304	+ 2,2	− 2,1	+ 0,04	+ 0,14	401
50		303	+ 2,3	− 2,2	+ 0,14	+ 0,11	395
59	kalt gebogen,	301	+ 2,2	− 2,3	+ 0,14	+ 0,04	404
Mittel	dann	302	+ 2,2	− 2,2	+ 0,11	+ 0,10	400
42	ausgeglüht	209	+ 3,4	− 3,2	+ 0,21	+ 0,28	403
51	und	211	+ 3,2	− 3,1	+ 0,18	+ 0,28	391
60	kalt gerichtet	206	+ 3,3	− 3,1	+ 0,14	+ 0,25	409
Mittel		209	+ 3,3	− 3,1	+ 0,18	+ 0,27	401
43		181	+ 3,7	− 3,6	+ 0,21	+ 0,18	397
52		179	+ 3,7	− 3,6	+ 0,18	+ 0,18	395
61		180	+ 3,8	− 3,7	—	+ 0,14	391
Mittel		180	+ 3,7	− 3,6	+ 0,20	+ 0,17	394
44	D	512	+ 1,2	− 1,1	+ 0,04	+ 0,11	390
53		513	+ 1,1	− 1,1	+ 0,04	+ 0,07	394
62	kalt gebogen,	520	+ 1,2	− 1,1	± 0,0	+ 0,07	409
Mittel	dann	515	+ 1,2	− 1,1	+ 0,03	+ 0,08	398
45	kalt gerichtet	179	+ 3,8	− 3,6	+ 0,18	+ 0,17	395
54	und	179	+ 3,6	− 3,6	+ 0,21	+ 0,18	393
63	ausgeglüht	179	+ 3,8	− 3,7	+ 0,21	+ 0,14	403
Mittel		179	+ 3,7	− 3,6	+ 0,20	+ 0,16	397
46	E	500	+ 1,2	− 1,1	− 0,04	+ 0,11	403
55		521	+ 1,3	− 1,2	+ 0,04	+ 0,04	410
64		529	+ 1,2	− 1,1	+ 0,11	+ 0,07	407
Mittel	kalt gebogen,	517	+ 1,2	− 1,1	+ 0,04	+ 0,07	407
47	dann	181	+ 3,7	− 3,5	+ 0,18	+ 0,21	401
56	kalt gerichtet	181	+ 3,9	− 3,6	+ 0,25	+ 0,18	405
65		181	+ 3,8	− 3,6	+ 0,32	+ 0,25	399
Mittel		181	+ 3,8	− 3,6	+ 0,25	+ 0,21	402

[1]) Mittel aus 33 Versuchen.

auf die Festigkeitseigenschaften des Materials.

stehenden haben geringeres Gewicht als die nicht eingeklammerten.

Dehnungszahl a mm 10^{-1}	Spannungen in kg/qmm: Mittlere Proportionalitätsgrenze σ_P	Streckgrenze σ_S	Bruchgrenze σ_B	Verhältniß σ_S/σ_B %	Bruchdehnung % gemessen auf je 50 mm δ_{50} von der Bruchstelle	100 mm δ_{100} von der Bruchstelle	Mittlere Verhältnißzahlen, die Werthe für den ursprünglichen Zustand (bei C und D geglüht, bei E ungeglüht) gleich 100 gesetzt: a	Spannungen σ_P	Spannungen σ_S	Spannungen σ_B	Dehnung δ_{50}	Dehnung δ_{100}
499[1])	18,9[1])	25,2	38,5	66	36,8	28,8	Sämmtliche Werthe für den Vergleich mit Reihe E gleich 100					
		26,2	42,7	61	33,9	27,3						
		26,0	41,3	63	39,4	30,5						
		25,8	**40,8**	**63**	**36,7**	**28,9**						
505	14,9	24,1	37,1	65	42,3	38,0	Sämmtliche Werthe für den Vergleich mit Reihe C und D gleich 100					
		20,2	39,1	52	34,9	28,8						
		23,6	37,8	63	39,0	29,7						
		22,8	**38,0**	**60**	**38,7**	**32,2**						
Proportionalität nicht zu erkennen		18,6	37,8		33,1	25,1						
		(17,8)	39,4	—	29,7	22,3						
		20,2	39,7		27,2	24,4						
		19,4	**39,0**	**50**	**30,0**	**23,9**	—	—	**85**	**108**	**78**	**74**
		20,0	39,3		31,6	22,4						
		20,3	39,2	—	31,9	23,7						
		19,8	39,6		34,4	25,3						
		20,0	**39,4**	**51**	**32,6**	**23,8**	—	—	**88**	**104**	**84**	**74**
		21,1	39,1		31,9	23,8						
		21,7	39,6	—	37,6	26,7						
		22,0	39,7		31,4	24,1						
		21,6	**39,5**	**55**	**33,6**	**24,9**	—	—	**95**	**104**	**87**	**77**
		22,7	39,7		33,9	25,5						
		22,8	39,3	—	31,2	23,0						
		23,0	40,3		30,4	23,5						
		22,8	**39,8**	**57**	**31,8**	**24,0**	—	—	**100**	**105**	**82**	**75**
485	15,0	21,8	38,5		34,3	27,2						
		21,6	36,8	—	39,2	30,4						
		24,4	39,1		36,0	31,8						
		22,6	**38,1**	**59**	**36,5**	**29,8**	**96**	**100**	**99**	**100**	**94**	**96**
506	12,6	25,3	39,2		35,3	28,0						
		(20,4)	35,6	—	39,1	29,9						
		26,1	39,1		35,7	28,6						
		25,7	**38,0**	**68**	**36,7**	**28,8**	**100**	**85**	**118**	**100**	**95**	**89**
[512]	14,7	26,0	44,7		27,8	19,9						
		24,4	39,6	—	27,9	19,6						
		28,9	44,8		26,5	19,0						
		26,4	**43,0**	**61**	**27,4**	**19,5**	**102**	**78**	**102**	**105**	**75**	**67**
[518]	17,4	33,7	48,0		22,1	16,3						
		29,6	43,2	—	Bruch außerhalb der Theilung							
		33,8	48,9		22,4	16,5						
		32,4	**46,7**	**69**	**22,2**	**16,4**	**104**	**92**	**125**	**114**	**[61]**	**[57]**

Tab. 11 in den letzten 6 Spalten Verhältnißzahlen angefügt, welche den Einfluß der voraufgegangenen Behandlung der Stäbe auf deren Festigkeitseigenschaften erkennen lassen. Ihrer Berechnung sind die Werthe für die nicht gebogenen Stäbe zu Grunde gelegt, und zwar bei den Reihen C und D diejenigen für den ausgeglühten (Reihe B) und bei der Reihe E diejenigen für den nicht geglühten Zustand (Reihe A).

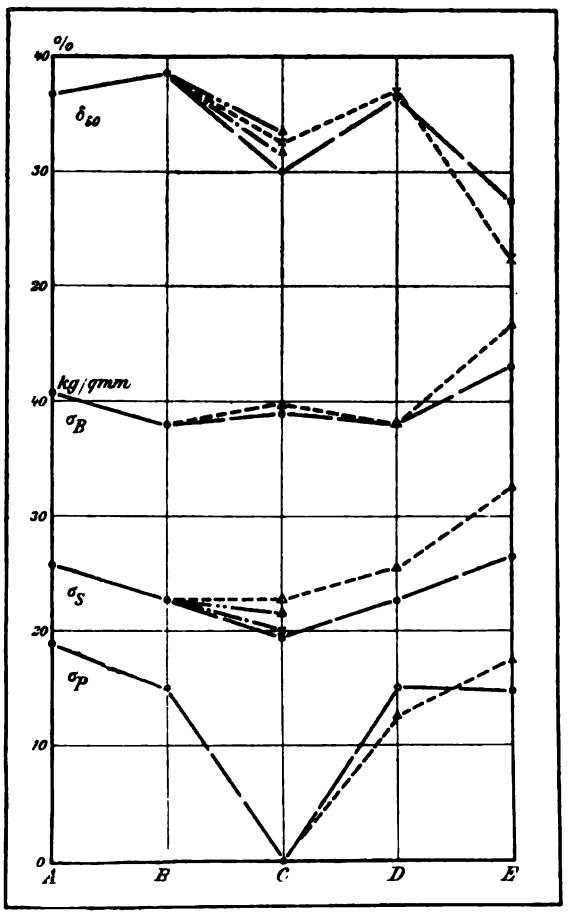


Fig. 30. Einfluß des Biegens und Richtens.

A: ungeglüht; B: geglüht, beide ungebogen;

C: gebogen, ausgeglüht, gerichtet;
D: gebogen, gerichtet, ausgeglüht;
E: gebogen, gerichtet;

Biegungshalbmesser:
○ = 500 mm
× = 300 „
▲ = 200 „
Δ = 180 „

Aus diesen Verhältnißzahlen und dem Verlauf der Schaulinien Fig. 30 ergiebt sich Folgendes:

1. Durch das Biegen und Richten der Stäbe im kalten Zustande (Reihe E) wurden die Streckgrenze und die Zugfestigkeit des Materials gehoben, die Bruchdehnung wurde heruntergedrückt. Die Veränderungen waren um so größer, je kleiner die Biegungshalbmesser, d. h. je größer die dem Zugversuch voraufgegangene Inanspruchnahme des Materials beim Biegen und Richten gewesen war.

   Die Dehnungszahl α weist geringe Zunahme, die Spannung an der P-Grenze Abnahme auf und zwar erscheint letztere bei geringem Verbiegen ($r_1 = 500$ mm) größer (22 %) als bei stärkerem ($r \leqq 180$ mm) Verbiegen der Stäbe (8 %). Die Werthe für den Dehnungszuwachs schwanken indessen bei den gebogenen Stäben (Reihe E) so sehr, daß sie keinen sicheren Schluß für den Einfluß des Kalt-Biegens und Richtens auf die elastischen Eigenschaften des Materials zulassen.

2. Durch das Ausglühen der Stäbe wurde der Einfluß des Kaltbiegens und des hierauf folgenden Kaltrichtens nicht vollkommen beseitigt (Reihe D).

Die Proportionalitätsgrenze wurde durch das Ausglühen gehoben[1]), sie blieb bei den am stärksten gebogenen Stäben ($r \leqq 180$ mm) aber noch um 15 % gegen Reihe B heruntergedrückt, die Bruchdehnung (δ_{50}) sowohl bei $r = 500$ als auch bei $r \leqq 180$ mm um 5—6 % vermindert und die Streckgrenze bei $r \leqq 180$ mm um 13 % gehoben. Dagegen sind die P- und S-Grenze bei $r = 500$ mm und die Bruchspannungen für beide r durch das Ausglühen nach dem Richten auf die ursprünglichen Werthe für die nicht gebogenen Stäbe zurückgegangen.

3. Die Stäbe der Reihe C, welche nach dem Biegen ausgeglüht und dann kalt gerichtet waren, zeigen im Vergleich mit den nur geglühten Stäben (Reihe B) höhere Bruchfestigkeit (+ 3—5 %) und geringere Bruchdehnung (— 13 bis 22 %). Die Proportionalitätsgrenze ist bei allen diesen Stäben auf Null heruntergedrückt. Die Streckgrenze ist ebenfalls erniedrigt und zwar um so mehr je geringer die Formänderungen beim Richten gewesen waren.

Durch die Ergebnisse der Reihe D war dargethan, daß der Gesammteinfluß des Kalt-Biegens und Richtens durch das Ausglühen nicht vollkommen beseitigt worden war. Es ist daher nicht ausgeschlossen, daß auch bei Reihe C der Einfluß des Kaltbiegens trotz des Glühens vor dem Kaltrichten in dem Endergebniß noch zur Geltung kam. Aus diesem Grunde kann man die besprochenen Unterschiede zwischen den Werthen der Reihen C und B nicht ausschließlich dem Einfluß des Kaltrichtens zuschreiben, wohl aber aus ihnen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Reihe D folgende Schlüsse ableiten.

Durch das Kaltrichten wird:

a) dem Material die Eigenschaft, bis zu einer gewissen Spannungsgrenze sich der Belastung proportional auszudehnen, genommen;
b) die Spannung an der Streckgrenze heruntergedrückt und zwar beim Geraderichten aus den Krümmungen $r = 500 - 180$ mm umsomehr, je größer r ist;
c) die Bruchfestigkeit gehoben und
d) die Bruchdehnung vermindert.

Die Einschränkung der Schlußfolgerung unter b auf die bei den Versuchen angewendeten Krümmungshalbmesser erscheint aus folgendem Grunde geboten.

Die zu Reihe C Tab. 11 erhaltenen Verhältnißzahlen für σ_S lassen sich durch die Schaulinie Fig. 31 darstellen. Um zu ermessen, wie die Linie über den Beobachtungspunkt für $r = 508$ mm hinaus zu verlängern ist, hat man zu beachten, daß die Streckgrenze des Materials beim Biegen keine Veränderung erleidet, sobald der Krümmungshalbmesser so groß gewählt wird, daß die Elastizitätsgrenze des Materials beim Biegen nicht überschritten wird.

Die Schaulinie muß also bei einem bestimmten der Dehnungszahl des Materials entsprechenden Krümmungshalbmesser größer als 500 mm einen Wendepunkt haben, d. h. der Einfluß des Kaltrichtens muß schließlich mit wachsendem r wieder abnehmen. —

Die Ursache für die Beseitigung der Proportionalität und für das Zurückgehen der Streckgrenze durch das Kaltrichten glaube ich wieder, wie oben die Veränderlichkeit der

[1]) Daß die Proportionalitätsgrenze durch Ausglühen gehoben wurde, konnte auch bei den amtlichen Untersuchungen der Versuchsanstalt mit Flußeisen mehrfach beobachtet werden. Ich glaube diese Erscheinung darauf zurückführen zu sollen, daß das ungeglühte Versuchsmaterial in Folge der voraufgegangenen Bearbeitung oder ungleichmäßiger Abkühlung innere Spannungen besaß. Eingehende Untersuchungen hierüber sind eingeleitet.

Dehnungszahl, in den nach dem Richten in den Stäben zurückgebliebenen inneren Spannungen suchen zu sollen. Ich hoffe die in der Fußnote S. 45 erwähnten Versuche werden auch hierüber bestimmten Aufschluß geben.

4. Bei spannungsfreiem Material müssen, wie bereits bemerkt wurde, die Veränderungen der Eigenschaften die gleichen sein, ob sie durch Krummbiegen oder durch Richten hervorgerufen werden. Man wird daher annehmen können, daß die Stäbe der Reihe E, nachdem sie kalt gebogen aber noch nicht wieder gerichtet waren, annähernd die gleichen

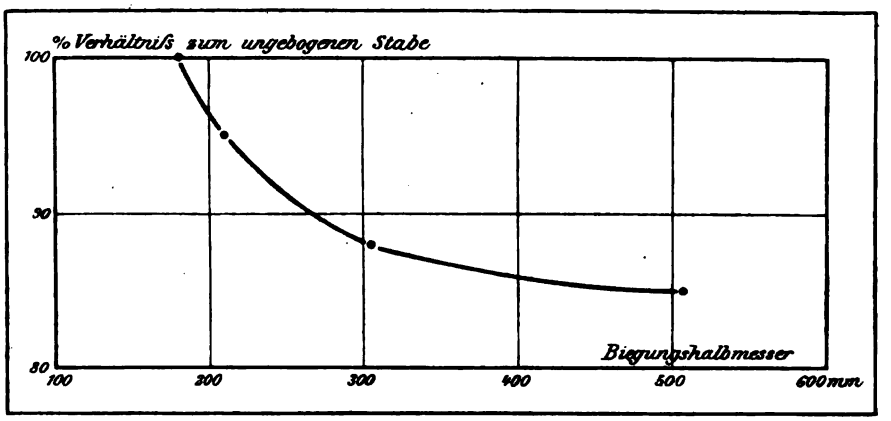


Fig. 31. Veränderung der Streckgrenze durch Kaltrichten.

Materialeigenschaften besaßen als die Stäbe der Reihe C nach dem Kaltrichten. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Reihe E und C werden daher wohl auf den Einfluß des Kaltrichtens bei Reihe E zurückzuführen sein. Trifft dies zu, so würde dieser Einfluß in Folgendem bestehen:

a) Die durch einmaliges Biegen im kalten Zustande auf Null heruntergeworfene Proportionalitätsgrenze (Reihe C : B) wird durch nochmaliges Biegen nach demselben Halbmesser aber im umgekehrten Sinne wieder gehoben (Reihe E : A), sie erreicht hierbei aber nicht die ursprüngliche Höhe ($\sigma_P = 18{,}9$), blieb vielmehr beim Biegungshalbmesser $r = 517$ mm mehr zurück ($\sigma_P = 14{,}7$) als bei $r = 181$ mm ($\sigma_P = 17{,}4$).

b) Die durch einmaliges Biegen (Richten) im kalten Zustande heruntergedrückte Streckgrenze (Reihe C : B) wird durch zweimaliges Biegen (Krummbiegen und Wiedergeraderichten) des Stabes (Reihe E : A) bis über den ursprünglichen Werth gehoben.

c) Die schon durch das einmalige Biegen (Richten) im kalten Zustande gehobene Zugfestigkeit (Reihe C : B) wird durch zweimaliges Biegen (Reihe E : A) noch weiter erhöht und

d) die Bruchdehnung wird durch Hin- und Herbiegen noch weiter heruntergedrückt als bei einmaligem Biegen.

c) Der Einfluß des Richtens im Vergleich mit dem des Streckens durch Zugbelastung.

Um zu vergleichen, wie sich der Einfluß des Biegens und Richtens zum Einfluß des Streckens durch Zugbelastung verhält, sind die zu Reihe E gehörigen Beobachtungswerthe mit denen aus Tab. 8 für 21- und 63tägige Entlastungsdauer zu vergleichen.

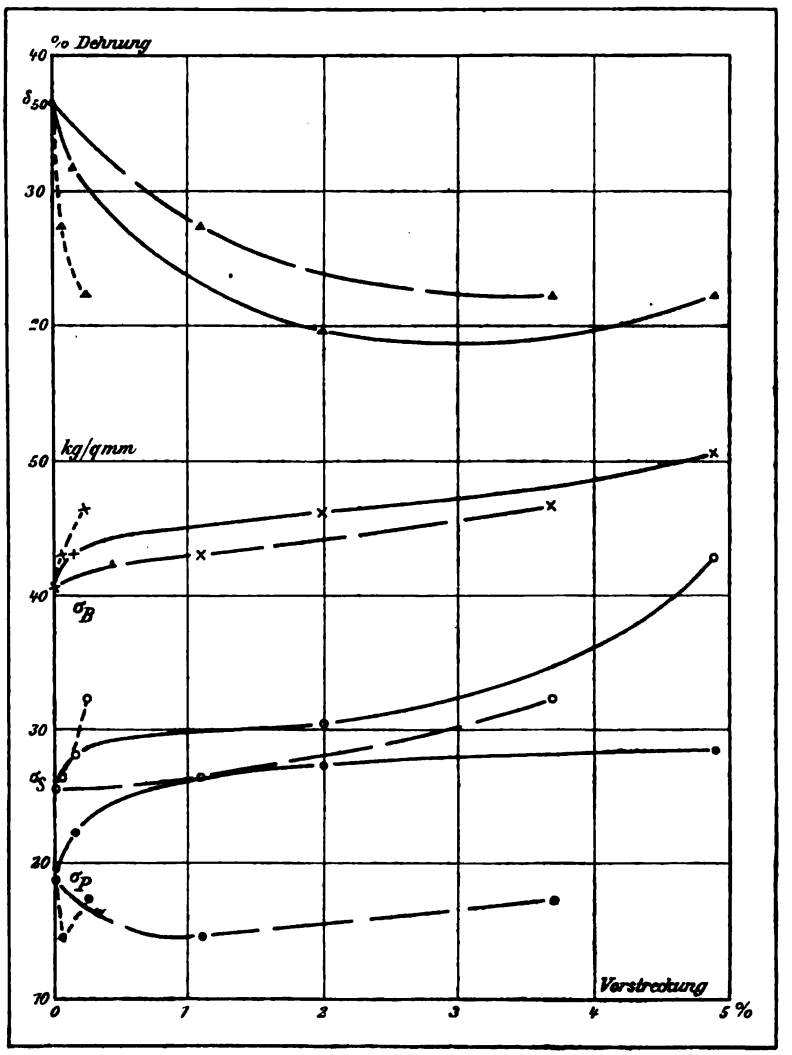


Fig. 32. Veränderung der Festigkeitseigenschaften bei gleicher Streckung durch Zug oder Biegen.

——— Vorstreckung durch Zugbelastung.
— — — Streckung auf der Zugseite beim Biegen.
– – – – Vorstreckung durch Biegen und Richten.

Die in Frage kommenden Werthe sind in Tab. 12 gegenübergestellt und in Fig. 32 zu Schaulinien aufgetragen, deren Abscissen den prozentuellen Streckungen vor Feststellung der Materialeigenschaften entsprechen. Für die Streckung Null sind die Werthe für den Anlieferungszustand aufgetragen.

Tabelle 12. Gegenüberstellung der Werthe für den Anlieferungszustand und nach dem Strecken durch Zugbelastung oder Biegen.

Bemerkung: Die in ( ) stehenden Werthe sind unsicher, die in [ ] stehenden haben geringeres Gewicht.

Zurichtung der Proben		Mittlere Vorstreckung in % beim Biegen	Mittlere Vorstreckung in % nach dem Strecken oder Richten	Festigkeitseigenschaften α	Spannungen σ_P	Spannungen σ_S	Spannungen σ_B	Spannungen σ_S/σ_B	Dehnung δ_{50}	Dehnung δ_{100}
Durch Zugbelastung gestreckt		—	0,15	(483)	[22,4]	28,1	43,1	66	31,9	25,1
		—	2,0	486	27,3	30,5	46,1	67	19,7	14,8
		—	4,9	(488)	[28,4]	42,9	50,8	84	22,2	16,9
Kalt gebogen und kalt gerichtet. Biegungshalbmesser r ≏	517	± 1,1	+ 0,06	[512]	14,7	26,4	43,0	61	27,4	19,5
	181	± 3,7	+ 0,23	[518]	17,4	32,4	46,7	69	22,2	16,4
Anlieferungszustand		—	—	499	18,9	25,8	40,8	63	36,7	28,9

Aus dem Vergleich der ausgezogenen Linien mit den punktirten ergiebt sich, daß Vorstrecken um den gleichen Betrag größeren Einfluß ausübte, wenn es durch einmaliges Kalt-Hin- und Herbiegen, als wenn es durch Zugbelastung erzeugt wurde. Zieht man aber die Formänderungen in Betracht, die nur durch Biegen erzielt wurden (gestrichelte Linie), so zeigt sich der Einfluß des Biegens kleiner als der des Streckens durch Zug.

3. Versuche mit Längs- und Querproben aus vorgestreckten Stäben.

(Arbeitsplan s. S. 10; Probenentnahme s. S. 14).

a) Die ursprünglichen Eigenschaften des Probenmaterials.

Die Festigkeitseigenschaften des Materials im Anlieferungszustande, ermittelt an Zerreißstäben von der Form Fig. 5 wie sie auch zur späteren Feststellung der Eigenschaften der vorgestreckten Stäbe verwendet wurden, sind aus Tab. 13 zu ersehen. Hiernach erwies sich für die Längsproben die Festigkeit (und zwar alle 3 Spannungsgrenzen σ_P, σ_S und σ_B) etwas geringer und die Bruchdehnung etwas größer als für die Querproben. Ferner zeigen die Ergebnisse der Parallelversuche bei den Querproben bessere Uebereinstimmung unter einander als die Längsproben.

In Tab. 5 waren Ergebnisse für größere Längsproben nach Fig. 4 mitgetheilt. Vergleicht man jene Werthe für den Anlieferungszustand mit denen aus Tab. 12 so ergeben sich:

Die Festigkeitseigenschaften:	α	σ_P	σ_S	σ_B	δ_5
bei F≏ 390 qmm und $L = 200 = 10\sqrt{F}$.:	499	[19,8]	25,8	40,8	28,9
bei F≏ 100 qmm und $L = 100 = 10\sqrt{F}$.:	486	23,2	25,4	40,2	29,1

Die mit beiden Stabformen erhaltenen Ergebnisse stimmen also außerordentlich gut überein.

b) Das Vorstrecken des Probematerials.

Bei den Stäben 67—71 und 77—81, aus denen später die Zerreißproben in der Richtung der Vorstreckung entnommen wurden, hatte die Dehnung beim Vorstrecken sich sehr

Tabelle 13. Die Festigkeitseigenschaften des Probematerials im Anlieferungszustande längs und quer zur Walzrichtung.

Stab Nr.	Lage der Stäbe zur Walzrichtung	Stabquerschnitt F qmm	Dehnungszahl α mm · 10^{-7}	Spannungen kg/qmm: Proportionalitätsgrenze σ_P	Streckgrenze σ_S	Bruchspannung σ_B	Bruchdehnung gemessen auf: je 50 mm vom Bruch $\delta_5 = 10\sqrt{F}$ %	Länge der Theilung δ_e %	Entfernung des Bruches von der Endmarke mm
66	Längs	106	486	26,4	28,3	43,8	27,4	26,9	30
72		102	486	19,6	23,5	38,2	31,2	29,8	15
73		102	486	23,5	24,5	38,7	32,6	30,7	10
Mittel		—	486	23,2	25,4	40,2	30,4	29,1	—
74	Quer	106	496	22,6	30,2	43,4	25,6	25,1	40
75		104	501	23,0	30,7	43,3	25,2	24,7	20
76		106	497	26,4	31,1	43,4	27,7	26,6	10
Mittel		—	498	24,0	30,7	43,4	26,2	25,5	—

Tabelle 14. Vorstreckung der Stäbe 67—71 und 77—81 vor Entnahme der Zerreißproben.

Die Zerreißproben wurden in der Richtung der Vorstreckung entnommen und zwar je 2 aus jedem Stabe.

Nr. des Stabes	Art der Entnahme aus dem Blech	Ursprüngliche Abmessungen: Dicke mm	Breite mm	Querschnitt qmm	Länge der Theilung mm	Belastung: Gesammt kg	kg/qmm	Abmessungen nach dem Strecken: Dicke mm	Breite mm	Querschnitt qmm	Länge der Theilung rechts mm	links mm	Dehnungen in %: nach der Entlastung innerhalb der Theilungslänge rechts	links	Mittel
67	längs	10,3	57,7	594	200	15500	26,1	10,2	57,7	589	200,3	200,2	0,15	0,10	0,13
71		10,2	57,7	588,5	200	17000	28,8	10,1	57,0	576	204,5	205,2	2,25	2,60	2,43
68		10,3	57,0	587	200	18750	31,9	10,2	56,4	575	204,8	205,0	2,40	2,50	2,45
70		10,2	57,7	588,5	200	20600	35,0	10,0	56,8	568	207,3	207,0	3,65	3,50	3,55
69		10,2	57,0	581	200	22100	38,0	9,9	55,6	550	208,9	209,9	4,45	4,95	4,70
77	quer	10,0	58,5	585	220	15000	25,6	10,0	58,4	584	220,1	220,7	0,05	0,32	0,19
81		10,0	60,6	606	230	17600	29,1	9,9	60,4	598	230,4	232,0	0,17	0,97	0,57
78		10,0	58,5	585	220	18750	32,1	9,9	57,8	572	225,3	225,8	2,41	2,64	2,53
80		10,0	60,7	607	230	21500	35,4	9,7	59,6	578	239,1	240,0	3,96	4,35	4,16
79		10,0	58,4	584	220	22250	38,2	9,8	56,9	556	231,8	233,5	5,37	6,15	5,76

gleichmäßig über die Versuchslänge der Stäbe vertheilt, wie aus dem Nachmessen der vor dem Belasten angebrachten Centimetertheilungen sich ergab. Von Mittheilung der einzelnen Messungsergebnisse wird daher Abstand genommen. Die Werthe für die Gesammtdehnung und für die Verminderung der Querschnittsabmessungen sind aus Tab. 14 zu ersehen und die Beziehungen zwischen den Dehnungen und den angewendeten Spannungen aus dem Verlauf der Schaulinien Fig. 33.

Tabelle 15. **Vorstreckung der stufenförmig profilirten Stäbe 82 und 83 (Fig. 12) gemessen auf den Breitseiten.**

Stab Nr. und Lage im Blech	Zeichen des Stabtheiles	Abmessungen vor dem Strecken: Dicke mm	Breite mm	Querschnitt qmm	Länge der Stabtheile gemessen auf den Breitseiten: rechts mm	links mm	im Mittel mm	Höchste Belastung: Gesammt kg	Spannung kg/qmm	Länge der Stabtheile nach dem Strecken: rechts mm	links mm	im Mittel mm	Mittlere Streckung %
82 Quer	A	10,0	195,6	1956	75,2	75,4	75,3	55000	28,1	75,3	75,5	75,4	0,1
	B	10,0	178,8	1788	75,0	74,8	74,9		30,8	76,5	76,4	76,5	2,1
	C	10,0	162,5	1625	74,9	75,3	75,1		33,8	78,0	78,0	78,0	3,9
	D	10,0	149,4	1494	75,3	75,3	75,3		36,8	79,1	79,0	79,1	5,0
	E	10,0	137,4	1374	74,5	74,5	74,5		40,0	78,4	78,4	78,4	5,2
83 Längs	A	9,8	200,0	1960	75,0	74,8	74,9	52250	26,7	76,6	76,3	76,5	2,1
	B	9,8	179,2	1756	75,3	74,8	75,1		29,8	77,7	77,6	77,7	3,5
	C	9,8	162,3	1591	75,0	75,0	75,0		32,8	78,5	78,5	78,5	4,7
	D	9,8	149,4	1464	74,9	74,8	74,9		35,7	80,6	80,6	80,6	7,6
	E	9,8	137,3	1346	74,9	75,0	75,0		38,8	81,3	81,6	81,5	8,7

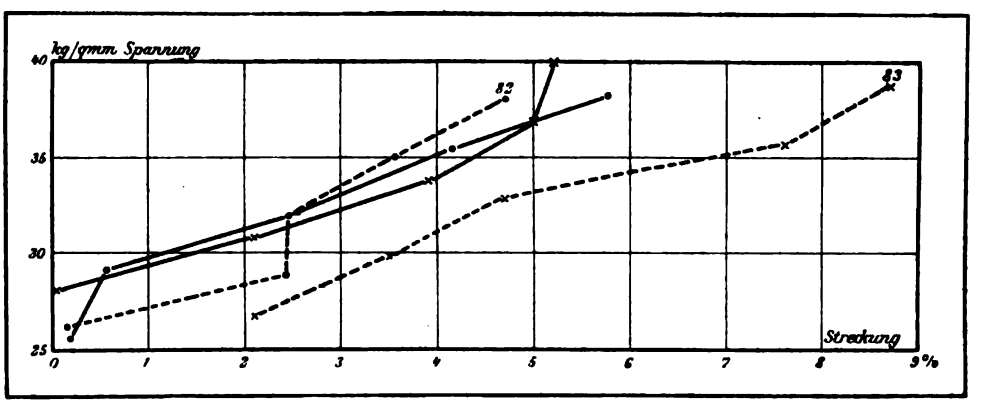


Fig. 33. Vorstreckung für gleiche Spannungen bei den Flachstäben und Stufenstäben.

● Flachstäbe nach Tab. 14; ——— Querstäbe.
× Stufenstäbe „ „ 15; – – – – – Längsstäbe.

Die Streckung der beiden stufenförmig profilirten Stäbe 82 und 83 (s. Fig. 12), aus denen hernach die Zerreißproben quer zur Richtung der Vorstreckung entnommen wurden und die im Nachstehenden kurz mit „Stufenstäbe" bezeichnet sein mögen, ist aus Tab. 15 und 16 zu ersehen. Tab. 15 enthält neben den auf Mitte Breitseite gemessenen Streckungen die Angaben über die höchsten Belastungen der Stäbe und die sich hieraus für die einzelnen Stabtheile A—E ergebenden Spannungen.

In Uebereinstimmung mit den Ergebnissen Tab. 13, nach denen die Querstäbe höhere Streckgrenzen besaßen als die Längsstäbe, erlitt nach Tab. 15 der Längsstab 83 für gleiche Spannungen größere Streckungen als der Querstab 82.

Tabelle 16. Vorstreckung der stufenförmig profilirten Stäbe 82 und 83 (Fig. 12) gemessen auf den Schmalseiten.

Stab Nr. und Lage im Blech	Dehnung der einzelnen Theilungsintervalle 1—7 in %, Theil 1 nach dem stärkeren Stabtheil hin gelegen														
	Zeichen des Stabtheiles	Einzelwerthe für die beiden Seiten							Mittlere Dehnung						
		gemessen	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
82 Quer	A	rechts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		links	0	0	0	0	0	0	0							
	B	rechts	3	1	0	0	1	0	0	3,0	1,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0
		links	3	1	1	0	0	0	0							
	C	rechts	5	2	4	2	3	0	0	5,0	3,0	3,0	2,5	2,5	1,0	0,5
		links	5	4	2	3	2	2	1							
	D	rechts	6	5	5	4	3	1	1	6,0	5,0	5,0	3,5	3,0	1,5	0,5
		links	6	5	5	3	3	2	0							
	E	rechts	9	7	5	6	5	6	9	8,5	6,5	5,5	5,0	4,5	6,5	8,5
		links	8	6	6	4	4	7	8							
83 Länge	A	rechts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		links	0	0	0	0	0	0	0							
	B	rechts	5	4	2	3	1	1	0	4,5	3,5	2,5	2,0	1,5	0,5	0
		links	4	3	3	1	2	0	0							
	C	rechts	7	7	3	4	3	2	0	6,5	6,0	3,5	3,0	3,5	1,5	0
		links	6	5	4	2	4	1	0							
	D	rechts	10	8	6	6	4	3	0	10,0	7,5	6,5	5,0	5,0	2,5	0
		links	10	7	7	4	6	2	0							
	E	rechts	15	10	9	8	7	8	13	14,5	10,0	8,5	8,5	8,0	7,5	12,0
		links	14	10	8	9	9	7	11							

Die Beziehungen zwischen Spannung und Dehnung sind bei dem quer zur Walzrichtung entnommenen Stufenstabe 82 die gleichen wie bei den Flachstäben nach Tab. 14 (s. Fig. 33). Der in der Walzrichtung entnommene Stufenstab 83 lieferte aber für alle Spannungen größere Dehnungen als die Flachstäbe.

Die Vorstreckungen der Stufenstäbe, gemessen an den Centimetertheilungen, welche auf den Schmalseiten angebracht waren, sind aus Tab. 16 und den Schaulinien Fig. 34 zu ersehen. Die Auftragung der Werthe erfolgte von der gemeinsamen Nulllinie aus aber getrennt für die einzelnen Stabtheile A—E.

Die Stabtheile A zeigten bei beiden Stäben auf den Schmalseiten keine Dehnung, obgleich die Streckung in der Mitte der Breitseite bei Stab 82 immerhin 0,1 % und beim Stabe 83 sogar 2,1 % betrug.

Die Stabtheile B—D erlitten auf den Schmalseiten an demjenigen Ende die größte Streckung, welches dem nächst stärkerem Stabtheil zugekehrt lag. Nach dem anderen Ende des Stabtheiles hin nahm die Streckung bis auf Null ab. Der Unterschied in der Streckung an beiden Enden desselben Stabtheiles war um so größer, je größer die Spannung gewesen war.

Der Stabtheil E, welcher an beiden Enden (in Figur 34 nach rechts durch den Stabkopf) durch breitere Theile begrenzt war, zeigte die geringste Streckung in der

Mitte der Länge. Sie war hier nur etwa halb so groß wie an beiden Enden desselben Stabtheiles.

Die Erklärung für den Verlauf der Streckung auf den Schmalseiten liefern die Lichtbilder Fig. 35—41, Taf. I, welche die sog. Fließfiguren[1]) auf den sauber geschlichteten Oberflächen der einzelnen Stabtheile nach beendetem Strecken darstellen.

Die Entstehung dieser Fließfiguren fällt bekanntlich mit Ueberschreitung der Streckgrenze des Materials zusammen und ist dadurch veranlaßt, daß die vorher ebene Oberfläche dort, wo die Figuren sich bilden, einsinkt. Besonders scharf ist dies zu erkennen auf der linken Hälfte von Fig. 35 Stabtheil B, dort, wo zwei Fließfiguren sich schneiden. Bei stärkerem Strecken des Stabes ebnet die Oberfläche sich wieder und die Figuren verschwinden.

Bei dem vorliegenden Stabe traten die Fließfiguren naturgemäß zuerst in dem Stabtheil E mit geringstem Querschnitt auf und sind hier wegen der starken Streckung dieses Theiles nur kaum noch zu erkennen (s. Fig. 39); nach dem Stabtheil A hin nehmen sie beständig an Schärfe zu.

Aus dem Lichtbilde von letzterem (s. Fig. 35) erkennt man, daß zu Anfang zwei Hauptgruppen von Figuren zu unterscheiden sind, nämlich

1. die annähernd unter 45° zur Stabachse geneigten Einsenkungen und
2. die von diesen abzweigenden und nahezu senkrecht zur Achse gerichteten Linien.

Aus der Lage der ersteren wird man schließen dürfen, daß

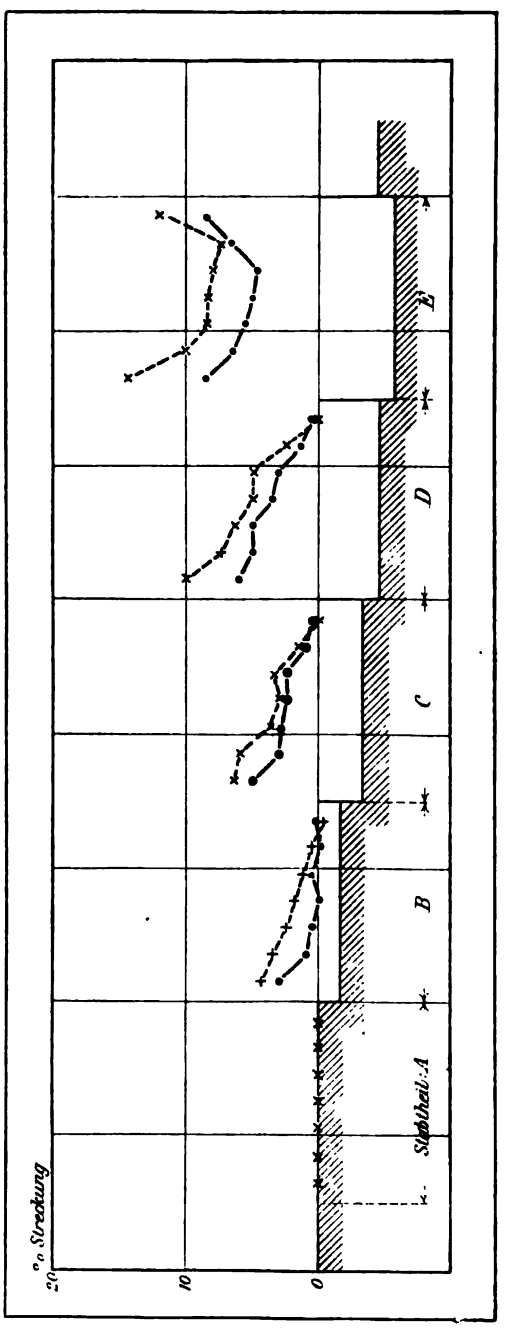


Fig. 34. Vorstreckung der stufenförmig profilirten Stäbe, gemessen für je 10 mm Länge auf den Schmalseiten der Stabtheile.

● ——— ● Stab 82 quer; × — — — × Stab 83 in der Walzrichtung entnommen.

[1]) Zuerst beobachtet von Lüders (s. Dingler's polyt. Journ. 1860).

beim Fortschreiten des Fließens von einem Stabtheil zum anderen in dem breiteren von beiden Schubspannungen erregt werden; daß die stärksten Schubspannungen von den beiden Ecken ausgehen, die von den Abstufungen gebildet werden, und daß sie nahezu unter 45° zur Stabachse gerichtet sind.

Außerhalb des von ihnen abgegrenzten Dreiecks ist im Theil A rechts und links nur je eine ebenfalls auf Schubspannungen deutende Linie wahrzunehmen; alle übrigen Fließfiguren liegen innerhalb des Dreiecks. Der von den Flächen mit größten Schubspannungen eingeschlossene Theil hat also zuerst gestreckt und ist demnach am stärksten beansprucht gewesen. Die in ihm sichtbaren, schräg zur Stabachse stehenden Streifungen dürften ebenfalls von Schubspannungen herstammen, welche sich von dem kleineren Stabtheil in den nächst stärkeren fortpflanzen. Man erkennt dies deutlich daran, daß sich die geneigtstehenden Streifungen bei allen Abbildungen Fig. 35—39 von einem Stabtheil in den anderen hinein verfolgen lassen. Nicht unbeachtet möge hierbei bleiben, daß die Neigung beim Uebergang in den breiteren Stabtheil stärker wird.

Die Querstreifungen im Stabtheil A sind meines Erachtens durch Ueberschreitung der Streckgrenze an den betreffenden Stellen in Folge von Zugspannungen veranlaßt. Ihre Entstehung denke ich mir wie folgt. Die Zugspannungen sind, jedenfalls sobald das Material unter den von den Ecken ausgehenden Schubspannungen zu fließen beginnt, nicht gleichmäßig über den Stabquerschnitt vertheilt; sie nehmen vielmehr nach der Mitte hin ab, weil die Stablängen innerhalb des erwähnten Dreiecks nach der Mitte hin zunehmen. Auf die Abnahme der Zugspannungen nach der Mitte hin deutet, daß die Querlinien im Stabtheil A nach der Stabachse hin fein auslaufen (Fig. 35) und daß das Fließen in dem nächst kleineren Stabtheil B in der Mitte noch nicht bis an die Grenze zwischen A und B fortgeschritten ist, wohl aber an den Rändern.

Im Theil A sind die Zugspannungen am stärksten an den beiden unteren Dreiecksecken. Daher tritt hier zuerst Fließen ein und die Querstreifungen haben hier die größte Breite. (Fig. 35.) [1])

Aus dem Lichtbilde Fig. 40 vom Stabe 83 ergiebt sich, daß sich die größten Schubspannungen bei stärkerem Strecken des Theiles A über die erwähnte Dreiecksfläche nach beiden Seiten hin fortpflanzten, sodaß nun an jeder der beiden Stabseiten eine neue Dreiecksfläche entstand, innerhalb welcher das Material an dem Fließen zunächst noch nicht theilnahm.

Wie das Fließen über diese an den Rändern der Stabtheile gelegenen Dreiecksflächen fortschreitet, zeigen die Lichtbilder der verschiedenen Stabbreiten. Aus Fig. 35 und 36 erkennt man deutlich, daß das Ende des Stabtheiles B an den Rändern noch nicht geflossen hat und aus den Fig. 37 und 38, daß das Fließen an den Enden der Stabtheile C und D geringer war als an ihrem Anfang (nach dem stärkeren Stabtheil hin), worin zugleich die Erklärung für die oben erörterte, ungleichmäßige Vertheilung der Vorstreckung über die Schmalseiten der Stabtheile gegeben ist (s. Fig. 34). —

Zur Feststellung der Vorstreckung innerhalb des Bereiches der einzelnen Stabtheile, aus dem nachher die Querproben entnommen wurden, konnten die an den Schmalseiten gemessenen Dehnungen, wie ersichtlich, nicht verwendet werden. Hierzu wurden die Längenänderungen

[1]) Diese Erscheinung läßt auch erkennen, weßhalb scharfe Uebergänge bei Konstruktionstheilen für deren Bruchsicherheit nachtheilig sind.

an den auf den Breitseiten angebrachten Quertheilungen bestimmt und zwar wurden an den Stabtheilen A und B je 7 und an den Stabtheilen C—E je 5 Messungen in je 24 mm Entfernung von einander angestellt. Die hierbei erzielten Ergebnisse sind aus den Fig. 42 und 43 zu ersehen. Sie lassen erkennen, daß beim Stabe 82 die Theile A—C (Fig. 42) innerhalb des ausgemessenen Bereiches über die ganze Breite annähernd gleichmäßige Streckung erfuhren, während im Stabtheil D in der Mitte die größte und im Stabtheil E in der Mitte die kleinste Streckung stattfand.

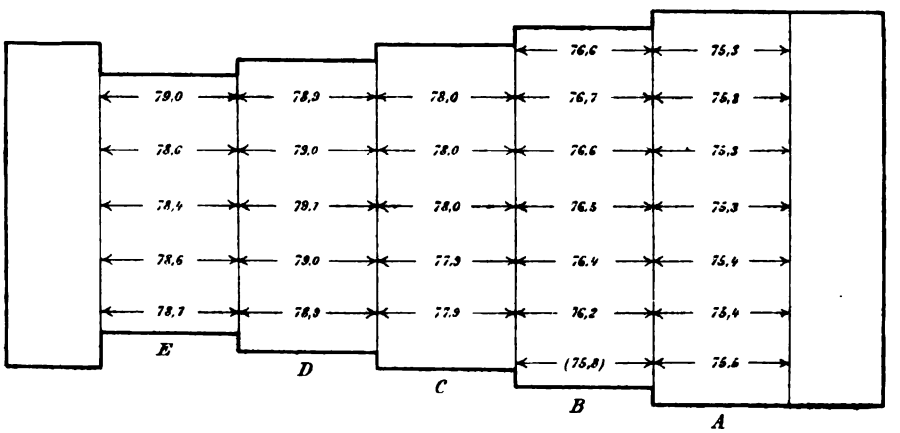


Fig. 42. Längen der einzelnen Theile des Stabes 82 nach dem Vorstrecken.

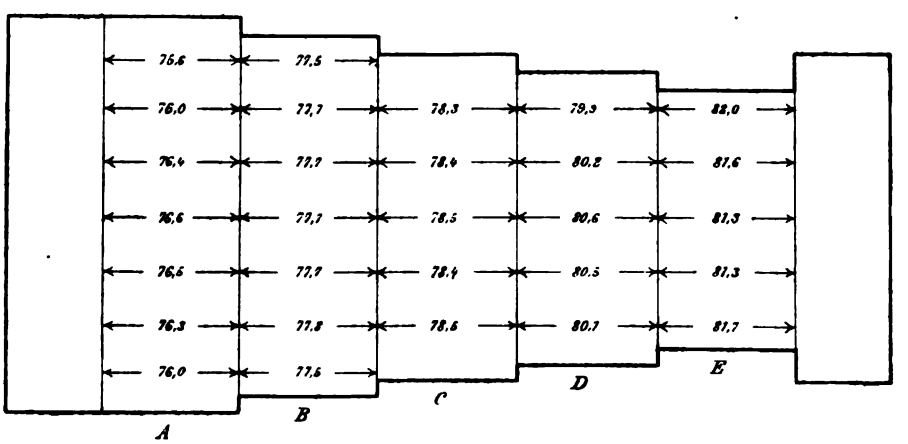


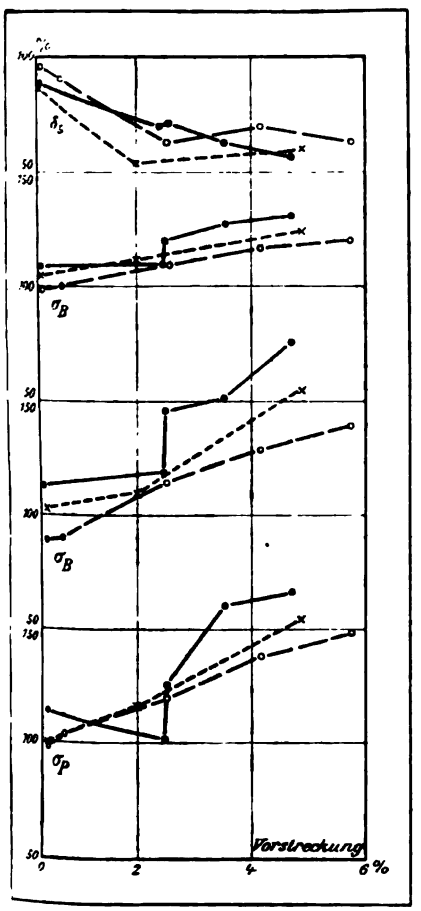
Fig. 43. Längen der einzelnen Theile des Stabes 83 nach dem Vorstrecken.

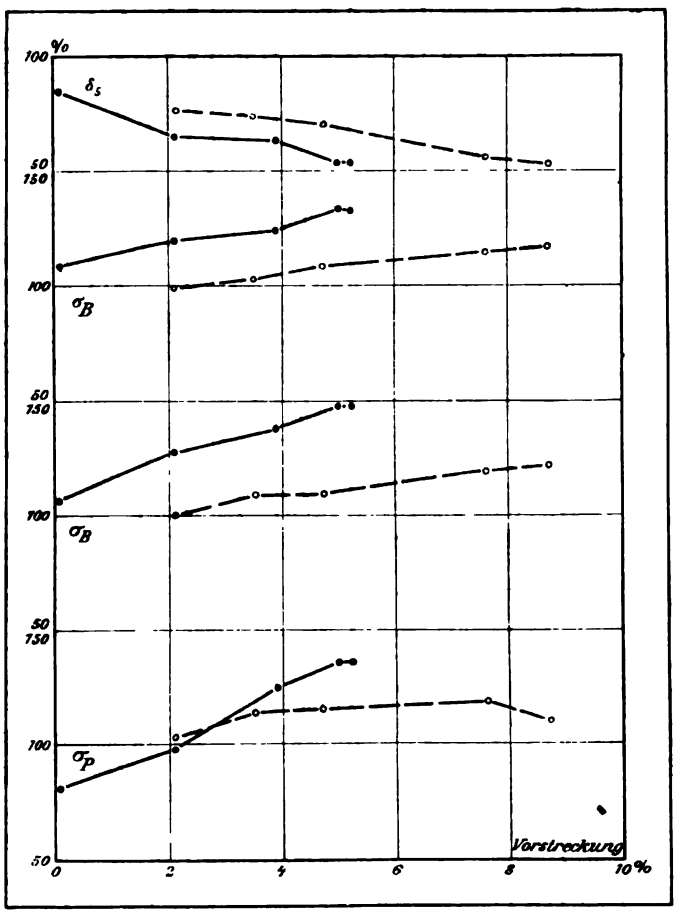
Bei dem im Ganzen stärker gestreckten Stabe 83 (Fig. 43) trifft das zu den Theilen D und E des Stabes 82 Gesagte ebenfalls zu. Dagegen hatte annähernd gleichmäßige Streckung innerhalb der ganzen Breite nur beim Theil C stattgefunden und in A und B nahm die Streckung nach beiden Rändern hin ab.

Die beobachteten Unterschiede sind indessen nicht so groß, daß es nothwendig erschien, sie bei Beurtheilung des Einflusses des Vorstreckens auf die aus den einzelnen Stabstufen entnommenen Zerreißproben in Rücksicht zu ziehen.

c) Die Veränderungen der Festigkeitseigenschaften.

Die Ergebnisse für die Längs- und quer vorgestreckten Stäbe sind in Tab. 17 und 18 zusammengestellt. Die Verhältnißzahlen für die Festigkeitseigenschaften vor und nach dem Strecken sind ferner in Fig. 44 und 45 zu Schaulinien aufgetragen. Die vollausgezogenen Linien gelten für die in der Walzrichtung und die gestrichelten für die quer zur Walzrichtung des Bleches entnommenen Stäbe.





Verhältniß zwischen den Festigkeitseigenschaften des Materials im ursprünglichen Zustande und nach dem Vorstrecken.

Fig. 44. In der Richtung der nachfolgenden Zugbelastung vorgestreckt (Tab. 17).

Fig. 45. Quer zur Richtung der nachfolgenden Zugbelastung vorgestreckt (Tab. 18).

●——● Längs- } Proben, aus den vorgestreckten Stäben neu entnommen.
○——○ Quer- }

×------× Längs-Proben, die vorgestreckten Stäbe zum zweiten Mal geprüft; Mittelwerthe für 21 und 63tägige Pause zwischen beiden Prüfungen (s. Tab. 8).

Die paarweise aus demselben größeren Stabe in der Richtung der Vorstreckung entnommenen Proben a und b (s. Tab. 17) zeigen bei den Längsproben (Walzrichtung) im allgemeinen gut übereinstimmende Festigkeitseigenschaften. Bei den Querproben (quer zur Walzrichtung) besaßen die Proben a vom Rande der vorgestreckten Streifen (s. Fig. 11)

Tabelle 17. Einfluß des Streckens auf

a) Streckung in der Richtung

Die Proben wurden aus den vorgestreckten

Lage der Proben zur Walzrichtung	Material: Stab Nr.	Material: Vorgestreckt mit Spannung σ_{max} kg/qmm	Material: Vorgestreckt im Dehnung %	Zeichen der Probe aus dem Abschnitt	Querschnitt der Probe qmm	Dauer zwischen dem Vorstrecken und der Prüfung Tage	Elastische Eigenschaften: Dehnungszahl α mm 10^7	Elastische Eigenschaften: Elasticitätsmodul kg/qmm	Spannungen: P-Grenze σ_P kg/qmm	Spannungen: Streckgrenze σ_S kg/qmm	Spannungen: Bruch σ_B kg/qmm	Bruchdehnung gemessen auf: je 50 mm von dem Bruch δ_{50} %	Bruchdehnung gemessen auf: Länge der Theilung δ_l %
Längsproben	Mittelwerthe für die nicht gestreckten Stäbe 66, 72 u. 73 (s. Tab. 13)						486	20570	28,2	25,4	40,2	30,4	29,1
	67	26,1	0,13	a	104	40	497	20120	26,4	28,8	43,3	25,5	25,7
				b	104	44	519	19230	26,4	28,8	44,2	27,6	27,4
				Mittel	—	42	508	19675	26,4	28,8	43,8	26,6	26,6
	71	28,8	2,43	a	101	43	514	19470	22,3	27,2	41,5	—	—
				b	100	51	502	19910	25,0	32,5	46,0	21,5	21,3
				Mittel	—	47	508	19690	23,7	29,9	43,8	[21,5]	[21,3]
	68	31,9	2,45	a	103	43	497	20140	31,6	36,4	48,5	22,1	21,1
				b	103	44	498	20080	26,7	36,4	48,5	21,5	21,4
				Mittel	—	44	498	20110	29,2	36,4	48,5	21,8	21,3
	70	35,0	3,55	a	101	42	493	20300	37,1	39,6	50,5	18,4	18,0
				b	101	49	(459)	(21800)	(24,8)	37,1	51,5	19,5	17,9
				Mittel	—	46	(493)	(20800)	(37,1)	38,4	51,0	19,0	18,0
	69	38,0	4,70	a	101	42	500	20000	42,1	44,6	52,5	17,8	17,0
				b	101	44	489	20410	34,7	44,6	52,5	16,9	16,5
				Mittel	—	43	495	20205	38,4	44,6	52,5	17,4	16,8
Querproben	Mittelwerthe für die nicht gestreckten Stäbe 74—76 (s. Tab. 12)						498	20050	24,0	30,7	43,4	26,2	25,5
	77	25,6	0,19	a	102	43	500	20000	24,5	27,0	42,2	24,9	18,4
				b	100	51	500	20080	22,5	27,5	43,0	25,2	18,8
				Mittel	—	47	500	20040	23,5	27,3	42,6	25,1	18,6
	81	29,1	0,57	a	101	44	500	20030	27,2	27,2	42,6	24,3	20,2
				b	99	51	525	19020	22,7	27,8	44,4	23,4	23,1
				Mittel	—	48	513	19530	25,0	27,5	43,5	23,9	21,7
	78	32,1	2,53	a	101	44	506	19790	29,7	34,7	46,5	15,3	15,0
				b	100	51	512	19520	27,5	35,0	48,0	17,5	17,5
				Mittel	—	48	509	19660	28,6	34,9	47,3	16,4	16,3
	80	35,4	4,16	a	98	42	504	19850	38,3	40,8	51,0	19,7	17,7
				b	99	49	482	20750	27,8	37,9	50,5	16,7	16,3
				Mittel	—	46	493	20300	33,1	39,4	50,8	18,2	17,0
	79	38,2	5,76	a	99	42	498	20090	37,9	42,9	51,5	16,8	16,4
				b	99	49	487	20520	32,8	42,9	52,5	16,0	15,8
				Mittel	—	46	493	20310	35,4	42,9	52,0	16,4	16,1

die Festigkeitseigenschaften des Materials.

der nachfolgenden Zugbelastung.

Stäben von neuem herausgearbeitet.

Entfernung des Bruches von der nächsten Endmarke	Verhältniß zwischen den Spannungsgrenzen bei demselben Stabe			Verhältniß zwischen den Festigkeitseigenschaften des vorgestreckten Materials zu denen des ursprünglichen						Verhältniß von σ_{max} (höchste Spannung bei der ersten Belastungsreihe) zu den Werthen der zweiten Reihe	
				Dehnungszahl	Spannungen			Bruchdehnung			
	$\frac{\sigma_P}{\sigma_S}$	$\frac{\sigma_P}{\sigma_B}$	$\frac{\sigma_S}{\sigma_B}$		σ_P	σ_S	σ_B	δ_{50}	δ_1	σ_P	σ_S
mm	%	%	%	α							
—	**91**	**58**	**63**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	—	—
20	92	61	67	102	114	113	108	84	88	101	110
20	92	60	65	106	114	113	110	91	94	101	110
—	**92**	**61**	**66**	**104**	**114**	**113**	**109**	**88**	**91**	**101**	**110**
0	82	54	66	105	96	107	103	—	—	77	94
20	77	54	71	103	108	128	114	71	73	87	113
—	**80**	**54**	**68**	**104**	**102**	**118**	**109**	**[71]**	**[73]**	**83**	**104**
40	87	65	75	102	136	143	121	73	73	99	114
30	74	55	75	102	115	143	121	71	74	84	114
—	**80**	**60**	**75**	**102**	**126**	**143**	**121**	**72**	**74**	**92**	**114**
30	94	73	78	101	160	156	126	61	62	106	113
10	(67)	(48)	72	(94)	(107)	146	128	64	62	(71)	106
—	**94**	**73**	**75**	**(101)**	**(160)**	**151**	**127**	**63**	**62**	**106**	**110**
20	94	80	85	103	182	176	130	59	58	111	117
15	78	66	85	100	150	176	130	56	57	91	117
—	**86**	**73**	**85**	**101**	**166**	**176**	**130**	**57**	**58**	**101**	**117**
—	**78**	**55**	**71**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	—	—
5	91	58	64	100	102	88	97	95	72	95	105
3	82	52	64	100	94	90	99	96	74	88	107
—	**86**	**55**	**64**	**100**	**98**	**89**	**98**	**96**	**73**	**92**	**106**
5	100	64	64	100	113	89	98	93	79	94	94
20	82	51	63	105	95	91	101	89	91	78	96
—	**91**	**57**	**63**	**103**	**104**	**90**	**100**	**91**	**85**	**86**	**95**
5	86	64	75	101	124	113	107	59	59	93	108
10	79	57	73	102	115	114	110	67	69	86	109
—	**82**	**60**	**74**	**102**	**120**	**114**	**109**	**63**	**64**	**89**	**109**
10	94	75	80	101	160	133	117	75	69	108	115
5	73	55	75	96	116	123	116	64	64	79	107
—	**84**	**65**	**78**	**99**	**138**	**128**	**117**	**70**	**67**	**94**	**111**
30	88	74	83	100	158	139	119	64	64	99	112
30	77	62	82	97	137	139	121	61	62	86	112
—	**83**	**68**	**83**	**99**	**148**	**139**	**120**	**63**	**63**	**93**	**112**

Tabelle 18. Einfluß des Streckens auf

b) Streckung quer zur Richtung

Die Proben wurden aus den vorgestreckten

Lage der Proben zur Walzrichtung	Material: Stab Nr.	Material: vorgestreckt mit Spannung σ_{max} kg/qmm	Material: vorgestreckt um Dehnung %	Ursprüngliche Abmessungen: Dicke mm	Breite mm	Querschnitt qmm	Versuchslänge mm	Länge der Theilung mm	Elastische Eigenschaften: Dehnungszahl α mm 10^{-7}	Elasticitätsmodul kg/qmm	Spannungen: σ_P kg/qmm	σ_S kg/qmm	σ_B kg/qmm
Längsproben	**Mittelwerthe für die nicht gestreckten Längsproben 66, 72 u. 73 (Tab. 12)**			**10,2**	**10,2**	**103**	**110**	**100**	**486**	**20600**	**23,2**	**25,4**	**40,2**
	84	28,1	0,1	9,9	10,0	99,0	110	100	461	21700	(15,2)	25,3	43,9
	85			9,9	10,0	99,0	110	100	476	21000	20,2	27,8	43,9
	86			9,9	10,0	99,0	110	100	483	20700	17,7	27,8	44,2
	Mittel			—	—	—	—	—	**478**	**21130**	**19,0**	**27,0**	**44,0**
	87	30,8	2,1	9,8	10,1	99,0	110	100	532	18800	22,7	31,3	46,5
	88			9,8	10,1	99,0	110	100	488	20700	22,7	32,8	48,5
	89			9,7	10,1	98,0	110	100	488	20500	23,0	33,2	49,0
	Mittel			—	—	—	—	—	**501**	**20000**	**22,8**	**32,4**	**48,0**
	90	33,8	3,9	9,7	5,5	53,4	80	70	513	19500	28,1	31,8	46,8
	91			9,7	5,0	48,5	80	70	488	20700	28,9	37,1	51,8
	92			9,7	5,1	49,5	80	70	495	20200	30,3	36,4	51,5
	Mittel			—	—	—	—	—	**497**	**20130**	**29,1**	**35,1**	**50,0**
	93	36,8	5,0	9,6	5,2	49,9	80	70	481	20800	28,1	36,1	51,9
	94			9,6	5,2	49,9	80	70	478	20900	32,1	38,1	54,9
	95			9,5	5,2	49,4	80	70	476	21000	34,4	38,5	54,5
	Mittel			—	—	—	—	—	**478**	**20900**	**31,5**	**37,6**	**53,8**
	96	40,0	5,2	9,5	5,3	50,4	80	70	476	21000	31,7	37,7	54,1
	97			9,5	5,3	50,4	80	70	490	20400	31,7	37,7	53,6
	98			9,6	5,3	50,9	80	70	498	20100	31,4	37,3	52,6
	Mittel			—	—	—	—	—	**488**	**20530**	**31,6**	**37,6**	**53,4**
Querproben	**Mittelwerthe für die nicht gestreckten Querproben 74—76 (Tab. 12)**			**10,3**	**10,3**	**105**	**110**	**100**	**498**	**20100**	**24,0**	**30,7**	**43,4**
	99	26,7	2,1	9,6	10,4	99,8	110	100	476	21000	25,0	30,0	42,8
	100			9,7	10,4	100,9	110	100	481	20800	24,8	29,8	42,4
	101			9,7	10,4	100,9	110	100	478	20900	24,8	32,2	43,1
	Mittel			—	—	—	—	—	**478**	**20900**	**24,9**	**30,7**	**42,8**
	102	29,8	3,5	9,6	10,3	98,9	110	100	481	20800	27,8	32,8	44,7
	103			9,6	10,3	98,9	110	100	481	20800	25,2	32,8	45,0
	104			9,5	10,2	96,9	110	100	483	20700	28,4	33,6	45,4
	Mittel			—	—	—	—	—	**482**	**20770**	**27,1**	**33,0**	**45,0**
	105	32,8	4,7	9,5	5,2	49,4	77	70	474	21100	28,4	32,4	47,2
	106			9,5	5,2	49,4	77	70	474	21100	28,4	34,4	47,4
	107			9,5	5,3	50,4	77	70	485	20600	25,8	33,8	47,3
	Mittel			—	—	—	—	—	**478**	**20930**	**27,5**	**33,5**	**47,3**
	108	35,7	7,6	9,4	5,3	49,8	77	70	476	21000	26,1	34,1	48,1
	109			9,4	5,3	49,8	77	70	472	21200	28,1	36,2	50,1
	110			9,3	5,3	49,3	77	70	467	21400	30,4	38,6	51,1
	Mittel			—	—	—	—	—	**472**	**21200**	**28,2**	**36,3**	**49,8**
	111	38,8	8,7	9,1	5,6	51,0	77	70	474	21100	25,5	37,3	50,5
	112			9,1	5,5	50,1	77	70	485	20600	26,0	37,9	52,3
	113			9,1	5,5	50,1	77	70	485	20600	27,9	37,9	50,5
	Mittel			—	—	—	—	—	**481**	**20770**	**26,5**	**37,7**	**51,1**

die Festigkeitseigenschaften des Materials.
der nachfolgenden Zugbelastung.
Stäben von Neuem herausgearbeitet.

Bruchdehnung gemessen auf: je 50 mm vom Bruch δ_{50} %	Bruchdehnung gemessen auf: Länge der Theilung δ_l %	Entfernung des Bruches von der Endmarke mm	Verhältniß zwischen den Spannungsgrenzen bei demselben Stabe: $\frac{\sigma_P}{\sigma_S}$ %	$\frac{\sigma_P}{\sigma_B}$ %	$\frac{\sigma_S}{\sigma_B}$ %	Verhältniß zwischen den Festigkeitseigenschaften des vorgestreckten Materials zu denen des ursprünglichen: Dehnungsgrad α	Spannungen: σ_P	σ_S	σ_B	Bruchdehnung: δ_{50}	δ_l	Verhältniß von σ_{max} (höchste Spannung beim Vorstrecken) zu den Werthen der zweiten Reihe: σ_P	σ_S
30,4	**29,1**	—	**91**	**58**	**63**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	—	—
26,6	26,5	40	(60)	(35)	58	95	(66)	100	109	88	91	(54)	90
26,4	26,1	35	73	46	63	98	87	109	109	87	90	72	99
24,5	24,1	35	64	40	63	99	76	109	110	81	83	63	99
25,8	**25,6**	—	**69**	**48**	**61**	**97**	**82**	**106**	**109**	**85**	**88**	**68**	**96**
20,9	20,9	50	73	49	67	109	98	123	116	69	72	74	102
20,0	19,8	40	69	47	68	99	98	129	121	66	68	74	107
18,0	17,7	10	69	47	68	100	99	131	122	59	61	75	108
19,6	**19,5**	—	**70**	**48**	**68**	**103**	**98**	**128**	**120**	**65**	**67**	**74**	**106**
20,1	20,5	10	88	60	68	105	121	125	116	66	70	83	94
18,8	18,6	25	78	56	72	99	125	146	129	62	64	86	110
19,2	19,0	30	83	59	71	102	131	143	128	63	65	90	108
19,4	**19,4**	—	**83**	**58**	**70**	**102**	**126**	**138**	**124**	**64**	**66**	**86**	**104**
17,1	17,6	5	78	54	70	99	121	142	129	56	60	76	98
17,4	17,4	20	84	58	69	98	138	150	137	57	60	87	104
15,0	16,1	5	89	63	71	98	148	152	136	49	55	93	105
16,5	**17,0**	—	**84**	**58**	**70**	**98**	**136**	**148**	**134**	**54**	**58**	**85**	**102**
16,9	16,4	20	84	59	70	98	137	148	135	56	56	79	94
15,1	15,1	30	84	59	70	101	137	148	133	50	52	79	94
16,9	16,9	35	84	60	71	102	135	147	131	56	58	79	93
16,3	**16,1**	—	**84**	**59**	**70**	**100**	**136**	**148**	**133**	**54**	**55**	**79**	**94**
26,2	**25,5**	—	**78**	**55**	**71**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	—	—
21,8	21,6	40	83	58	70	96	104	98	99	84	85	94	112
19,1	17,9	10	83	58	70	97	103	97	98	78	70	93	111
18,6	17,1	10	77	58	75	96	103	105	99	71	67	93	121
19,8	**18,9**	—	**81**	**58**	**72**	**96**	**104**	**100**	**99**	**76**	**74**	**93**	**115**
19,7	17,5	5	85	62	73	97	116	107	103	75	69	93	110
19,3	17,7	20	77	56	73	97	105	107	104	74	69	85	110
18,0	16,7	20	85	63	74	97	118	109	105	69	65	95	113
19,0	**17,3**	—	**82**	**60**	**73**	**97**	**113**	**108**	**104**	**73**	**68**	**91**	**111**
18,1	16,6	10	88	60	69	95	118	106	109	69	65	87	99
19,7	17,7	15	83	60	73	95	118	112	109	75	69	87	105
17,3	15,9	10	76	55	71	98	107	110	109	66	62	79	103
18,4	**16,7**	—	**82**	**58**	**71**	**96**	**114**	**109**	**109**	**70**	**65**	**84**	**102**
15,4	14,1	10	77	54	71	95	109	111	111	59	55	73	96
14,8	14,3	15	78	56	72	95	117	118	115	57	56	79	101
13,6	12,3	10	79	59	76	94	127	126	118	52	48	85	108
14,6	**13,6**	—	**78**	**56**	**73**	**95**	**118**	**118**	**115**	**56**	**53**	**79**	**102**
13,7	13,1	10	68	50	74	95	106	121	116	52	51	66	96
13,7	12,8	10	69	50	72	97	108	123	120	52	50	67	98
14,4	13,7	15	74	55	75	97	116	123	116	55	54	72	98
13,9	**13,2**	—	**70**	**52**	**74**	**96**	**110**	**122**	**117**	**53**	**52**	**68**	**97**

größeres σ_P und kleineres σ_B als die mehr aus der Mitte entnommenen Proben b. Die einzige Ausnahme bilden die Proben 80; bei ihnen hat b das größte σ_B.

Bei den quervorgestreckten Längsproben (Tab. 18) tritt die auf Seite 53 besprochene ungleichmäßige Vertheilung der Vorstreckung innerhalb desselben Theiles des Stufenstabes darin zu Tage, daß von den je 3 Proben aus den Stabtheilen A—D fast durchweg die erste (s. Fig. 12) die niedrigsten Spannungen σ_P, σ_S, σ_B und die größten Bruchdehnungen δ und die dritte die höchsten Spannungen und geringsten Dehnungen zeigt. Die Proben aus dem am stärksten vorgestreckten Theil E zeigen diese Unterschiede nicht mehr; bei ihnen stimmen σ_P, σ_S und δ fast vollkommen überein und σ_B ist bei dem ersten Stabe am größten.

Bei den quervorgestreckten Querproben, welche stärker vorgestreckt wurden als die Längsproben, traten gesetzmäßige Unterschiede in den Festigkeitseigenschaften der 3 Proben aus demselben Stabtheil nicht hervor.

Der Einfluß wachsender Vorstreckung von Theil A nach E verläuft nach den Schaulinien Fig. 44 und 45 ebenfalls sehr regelmäßig, (die einzige auffallende Ausnahme bilden die Stäbe 71a und b mit 2,43 % Längs-Vorstreckung) und zwar äußerte er sich wie folgt:

1. Mit wachsender Vorstreckung rückten die Spannungsgrenzen σ_P, σ_S und σ_B höher und die Bruchdehnung nahm ab.
2. Bei den in der Walzrichtung entnommenen Stäben (vollausgezogene Linien Fig. 44 und 45) bewirkte schon geringe Vorstreckung (0,1 %) gleichviel, ob sie in der Richtung der späteren Beanspruchung (Fig. 44) oder quer zu dieser (Fig. 45) stattfand, Hebung der Spannungsgrenzen über die ursprüngliche Lage; nur σ_P ging durch geringe Quervorstreckung herunter und erreichte erst bei Vorstreckung um mehr als 2 % den ursprünglichen Werth wieder.
3. Die quer zur Walzrichtung entnommenen Stäbe (gestrichelte Linien) erlitten durch geringe Längsvorstreckung (um 0,19 und 0,57 %) (Fig. 44) Verminderung von σ_S und σ_B. Querstäbe mit weniger als 2 % Quervorstreckung liegen nicht vor; nach dem Verlauf der Schaulinien Fig. 45 scheinen solche aber ebenfalls geringere Spannungsgrenzen zu haben als im nicht vorgestreckten Zustande.

Um zu untersuchen, ob sich Unterschiede in den Eigenschaften des vorgestreckten Materials ergeben, wenn die Versuche unmittelbar an den vorgestreckten Stäben oder an kleinen aus ihnen besonders herausgeschnittenen Stäben angestellt werden, sind in Fig. 44 durch die punktirten Linien auch die Verhältnißzahlen für die ersteren nach Tab. 8 noch dargestellt. Sie gelten für Längsproben und sind also mit den voll ausgezogenen Linien zu vergleichen. Hieraus ergiebt sich,

4. daß bei Entnahme neuer Proben aus den vorgestreckten Stäben der Einfluß der Vorstreckung auf die Spannungsgrenzen geringer und auf die Bruchdehnung größer befunden wurde als bei unmittelbarer nochmaliger Prüfung der vorgestreckten Stäbe selbst.

Schließlich ergiebt sich noch aus der Lage der gestrichelten Linien zu den vollausgezogenen derselben Figur (44 und 45) und aus dem Verlauf der gleichartigen Linien beider Figuren,

5. daß der Einfluß sowohl der Längs- als auch der Quervorstreckung bei den in der Walzrichtung entnommenen Proben (ausgezogene Linien) größer war als bei den Querproben (gestrichelte Linien) und

daß sowohl bei den in der Walzrichtung als auch bei den quer zu dieser entnommenen Stäben die Längsvorstreckung größeren Einfluß hatte, als die Quervorstreckung. Ganz besonders tritt dieser Unterschied an der Erhöhung der Spannungen σ_P und σ_S zu Tage, am wenigsten an der Verminderung der Dehnung.

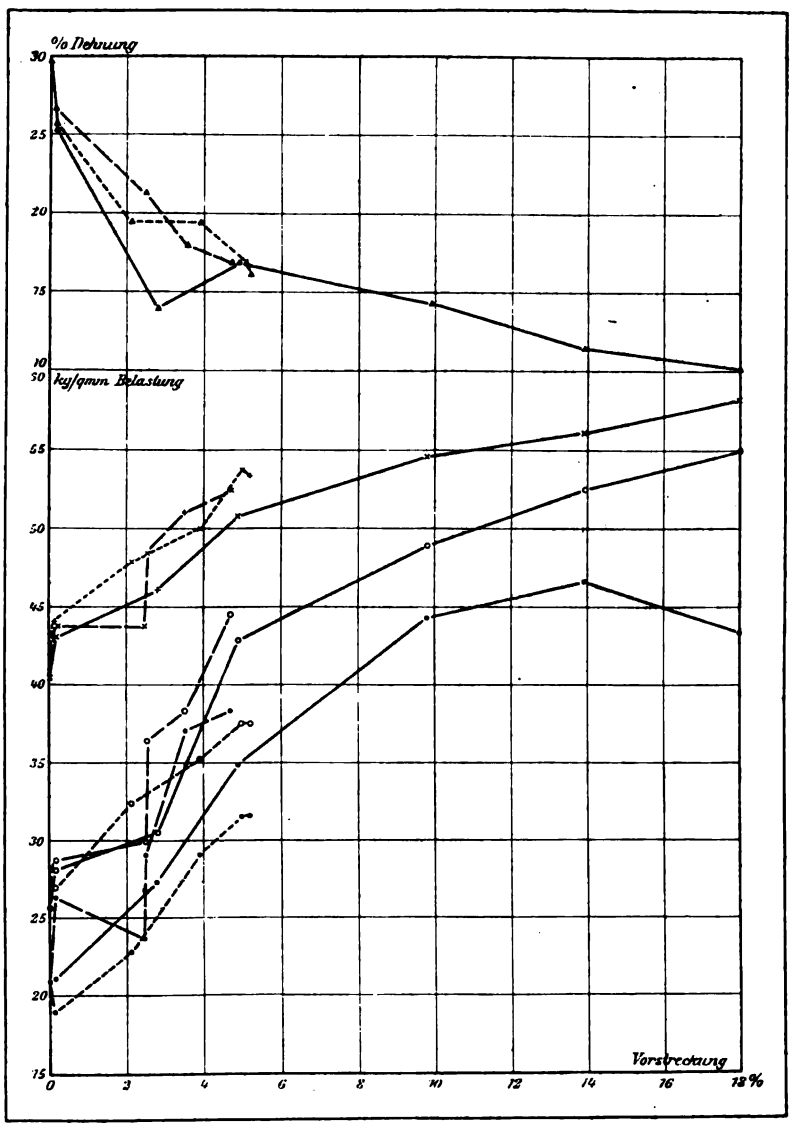


Fig. 46. Festigkeitseigenschaften des vorgestreckten Materials.
Sämmtliche Proben in der Walzrichtung aus dem Blech entnommen.

——— an demselben Stabe ermittelt (Tab. 8) } längs vorgestreckt.
— — — neue Proben aus dem vorgestreckten Stabe
– – – – – dsgl. quer vorgestreckt.

● σ_P
○ σ_S
× σ_B
▲ $\delta_{16,3}$ V_f

Der Einfluß der Vorstreckung auf die absoluten Werthe der Festigkeitseigenschaften, der in der Walzrichtung entnommenen Proben ist aus den Schaulinien Fig. 46 ohne Weiteres zu ersehen.

B. Einfluß des Ausglühens auf die Festigkeitseigenschaften des durch Zugbelastung gestreckten Materials.

1. Das Probematerial.

Durch diese Versuchsreihe sollte festgestellt werden, ob die durch Streckung veranlaßten Veränderungen der Festigkeitseigenschaften des Materials durch Glühen wieder beseitigt werden können.

Als Probematerial wurde aus je einer Bruchhälfte der 17 Flachstäbe 8, 16, 18—31 und 38 (s. Fig. 4), welche in Versuchsreihe A1 (s. Tab. 6) in verschiedenem Grade vorgestreckt, dann verschieden lange gelagert und schließlich bis zum Bruch auf Zugfestigkeit geprüft waren, ein kleiner Flachstab nach Fig. 5 von Neuem kalt herausgeschnitten. Die Bruchstücke hatten seit der Prüfung 232—507 Tage gelegen, sodaß angenommen werden konnte, daß auch die Nachwirkungen des Streckens erschöpft waren.

Von den so erhaltenen 17 Stäben wurden 9 im ausgeglühten und 8 im ungeglühten Zustande nochmals auf Zugfestigkeit geprüft. Außerdem wurden 2 kleine Stäbe neu aus dem Probeblech entnommen und mit den 9 vorgenannten gleichzeitig geglüht.

Die Prüfung der ungeglühten Stäbe bezweckte, bei dieser Versuchsreihe zugleich festzustellen, ob das Material von ursprünglich verschieden stark vorgestreckten und verschieden lange gelagerten Stäben nach deren völligem Zerreißen wieder gleiche Festigkeitseigenschaften besitzt.

Die Entnahme der neuen Stäbe aus den Bruchstücken der alten erfolgte nach Maßgabe von Fig. 47. Nachdem die 180 mm langen Abschnitte abgetrennt waren, wurde die

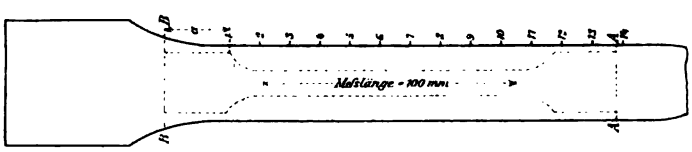


Fig. 47. Probenentnahme aus Bruchstücken zerrissener Stäbe.

stattgehabte Streckung durch Ausmessen der vom voraufgegangenen Versuch herstammenden Theilung auf den Schmalseiten der Proben ermittelt. Die Messung wurde stets an dem Ende B - B (Fig. 47) begonnen und hierbei auch die Entfernung a des Endquerschnitts B - B von der Endmarke 1 der alten Theilung festgestellt.

Die Messungsergebnisse sind aus den Schaulinien Fig. 48 zu ersehen.

Am Fuß der Figur ist das Profil der neuen Zerreißproben dargestellt. Die Ordinaten der Beobachtungspunkte geben die prozentuelle Dehnung der alten Theilungsintervalle und ihre Abscissen die Entfernung der Mitte des Intervalls von dem Endquerschnitt B B der Probe. Die Abscisse des linken Endpunktes der Schaulinien zeigt also, wie die Mitte des ersten Intervalls der ausgemessenen Theilung zum Stabprofil oder zur neuen Meßlänge gelegen hat. Man ersieht hieraus, daß die Gebrauchslänge (prismatischer Theil von 110 mm Länge) der neuen Stäbe innerhalb des annähernd gleichmäßig gestreckten Theiles des Bruchstückes lag, d. h. an dem einen Ende nicht in den alten Stabkopf und an dem anderen nicht in den örtlich eingeschnürten Theil des Bruchstückes hineinragte. Die einzige Ausnahme bildete der Stab 25, der bei der ersten Prüfung in der Mitte gerissen war. Der aus ihm entnommene neue Stab riß denn auch in dem im alten Stabkopf gelegenen, nicht vor-

gestreckten Theil außerhalb der Meßlänge. Seine Ergebnisse sind daher von der Betrachtung ausgeschlossen.

Die Lage der Brüche ist in Fig. 48 für die einzelnen Stäbe durch Kreise an den Schaulinien gekennzeichnet. Man ersieht, daß die kleinen Stäbe im Allgemeinen

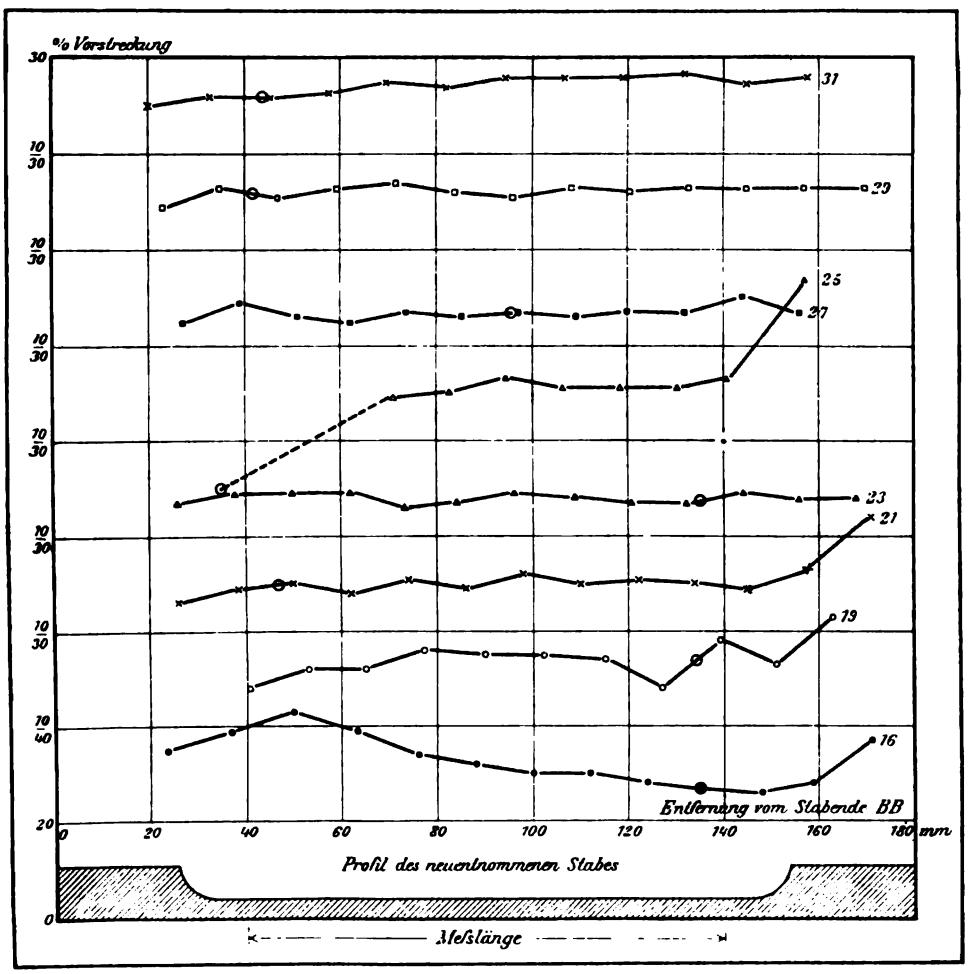


Fig. 48. Vertheilung der Vorstreckung über die Länge der aus den Bruchstücken entnommenen Zerreißproben.

innerhalb desjenigen Theilungsintervalls des Bruchstückes rissen, welches die geringste Vorstreckung erfahren hatte.

Die Messungen waren in 0,1 mm ausgeführt, die Vorstreckung also bis auf 1 % ermittelt.

II. Die Versuchsergebnisse.

Die Versuchsergebnisse sind unter Reihe 3 in Tab. 19 zusammengestellt. Zur besseren Uebersicht sind auch die Ergebnisse der beiden ersten Belastungsreihen mit den ursprünglichen größeren Stäben betreffend deren Vorstreckung (Reihe 1) und Prüfung bis zum Bruch, (Reihe 2) nochmals mit aufgenommen.

Tabelle 19. **Einfluß des wiederholten Vorstreckens und**

Stab Nr.	Erste Belastungsreihe (Stabform s. Fig. 4)					Zweite Belastungsreihe (bis zum Bruch; Stabform s. Fig. 4). Werthe bezogen auf die Abmessungen nach dem Vorstrecken							
	vorgestreckt um %	Elasticitätsmodul E	Dehnungszahl mm 10^{-1} α	Spannungen σ_P kg/qmm	Spannungen σ_S kg/qmm	Dauer des Lagerns Tage	Dehnungszahl mm 10^{-1} α	Spannungen kg/qmm σ'_P	Spannungen kg/qmm σ''_S	Spannungen kg/qmm σ''_B	Bruchdehnung % δ''_5 $l=5\sqrt{f}$	Bruchdehnung % δ''_{10} $l=10\sqrt{f}$	ausgeführt am
16	(20,5)	20000	500	18,0	26,5	1	486	46,6	56,6	56,6	—	—	11./4. 95
19	3,2	20560	486	17,3	25,9		497	28,0	32,4	41,2	28,8	24,0	5./4. 95
21	9,9	20200	495	20,5	26,3	7	(510)	45,0	46,4	49,1	18,9	14,1	5./4. 95
23	17,8	20600	485	22,1	27,7		500	54,5	56,6	56,6	11,0	5,5	6./4. 95
25	0,0	21800	458	19,9	27,4		(485)	22,4	28,7	43,0	32,4	26,1	2./7. 95
27	4,9	21000	476	22,2	27,8	21	(480)	28,4	42,6	50,4	21,0	15,7	2./7. 95
29	14,0	20530	487	23,0	28,1		482	46,5	55,2	58,1	15,5	10,9	4./7. 95
31	22,4	20300	493	22,3	27,3		508	50,3	58,4	59,9	9,7	6,4	4./7. 95
8	> (20)	22600	442	20,6	28,4	0	[515]	[21,9]	[50,0]	[53,8]	(13,7)	(9,0)	14./2. 95
18	0,5	20330	492	20,4	24,8		481	23,2	25,2	38,7	35,7	26,8	5./4. 95
20	5,1	20990	477	25,4	26,6	7	500	37,0	37,7	43,0	27,4	19,7	5./4. 95
22	14,1	20560	486	20,4	27,4		490	46,7	53,4	54,1	14,5	10,4	5./4. 95
24	22,5	21230	470	19,6	26,3		494	50,6	60,3	60,3	7,8	3,6	6./4. 95
26	2,0	20560	486	22,2	27,2		(492)	25,0	30,0	45,0	19,6	14,5	2./7. 95
28	10,0	20560	486	22,1	27,0	21	480	43,7	50,5	56,1	15,9	12,8	2./7. 95
30	18,0	21400	468	22,9	28,0		487	53,9	56,8	59,9	12,1	9,1	4./7. 95
38	23,9	20350	491	22,4	26,1	63	460	54,1	56,4	58,0	12,4	8,6	19./11. 95
114 115	Für diese Versuchsreihe neu aus dem Blech entnommen												

1. Versuche mit den ungeglühten Stäben.

Die Vorstreckung der Stäbe, ermittelt für dasjenige Theilungsinterval, in dem später der Bruch erfolgte, schwankt zwischen 17 und 24 %. Gesetzmäßige Unterschiede für den Einfluß dieser Schwankungen lassen sich aber weder an den Spannungen noch an den Bruchdehnungen der Stäbe wahrnehmen.

Bei der ersten Belastungsreihe betrug die Vorstreckung der Stäbe 19, 21 und 23, 3,2, 9,9 und 17,8 %, und die der Stäbe 27, 29 und 31[1]), 4,9, 14,0 und 22,4 %. Die ersteren 3 Stäbe lagen zwischen dem Vorstrecken und dem erstmaligen Zerreißen (Reihe 2) 7 Tage, die letzteren 3 Stäbe 21 Tage.

Die Ergebnisse der Reihe 3 lassen für die je 3 Stäbe gleicher Lagerdauer keinen gesetzmäßigen Einfluß des verschieden großen Vorstreckens auf die Materialeigenschaften erkennen.

Auf Grund dieser beiden Beobachtungen erscheint es zulässig, die Ergebnisse der Reihe 3 für die Stäbe gleicher Lagerdauer zwischen Reihe 1 und 2 zu Mittelwerthen zusammenzufassen. Es ergiebt sich dann:

[1]) Stab 25 ist wegen der Lage des Bruches außerhalb des vorgestreckten Theiles von der Betrachtung ausgeschlossen.

Wiederausglühens auf die Festigkeit des Materials.

Reihe 3 mit Stäben aus den Bruchstücken von Reihe 2 (Stabform s. Fig. 47)

ausgeführt am	Dauer des Lagerns Tage	Zustand bei der Prüfung	Vorstreckung im Mittel %	Vorstreckung an der Bruchstelle %	Dehnungszahl $mm \cdot 10^{-7}$ α'''	Spannungen kg/qmm σ'''_P	σ'''_S	σ'''_B	Bruchdehnung % δ'''_{10} $l = 10\sqrt{f}$	Entfernung des Bruches von der Endmarke mm
8./7. 96	453	ungeglüht	23	17	546	49,9	49,9	54,6	9,5	5
7./7. 96	458		23	24	496	45,1	55,2	58,2	8,8	5
6./7. 96	457		19	20	483	55,6	59,6	61,4	10,0	10
7./7. 96	457		18	17	524	48,2	56,0	60,0	10,4	5
7./7. 96	461		21	0	502	(48,1)	(52,1)	(57,3)	—	außerhalb
8./7. 96	462		17	17	490	52,6	60,5	63,0	9,8	45
8./7. 96	460		23	22	505	51,6	67,3	67,3	(6,7)	2
9./7. 96	461		25	22	495	57,1	65,4	67,0	(6,0)	2
6./7. 96	507	geglüht	21	18	490	20,5	22,4	40,2	29,4	10
8./7. 96	459		22	23	495	17,5	19,5	36,3	31,6	30
8./7. 96	459		19	19	[500]	[17,5]	19,5	36,0	32,5	40
7./7. 96	458		21	21	[495]	[18,5]	22,4	40,0	28,7	40
7./7. 96	457		21	21	508	[14,9]	22,8	40,7	29,8	25
8./7. 96	371		12	13	518	11,5	19,8	40,1	(25,5)	5
9./7. 96	372		21	22	535	15,4	23,7	39,6	28,4	40
9./7. 96	370		25	21	505	19,7	24,9	40,2	27,4	30
9./7. 96	232		26	26	510	17,7	21,8	36,6	31,1	40
			0	0	490	19,7	27,0	41,8	28,1	10
			0	0	515	23,9	27,0	42,1	24,2	20

für Lagerdauer in Tagen:		1	7	21
die Proportionalitätsgrenze .	σ_P =	49,9	49,6	53,8
die Streckgrenze	σ_S =	49,9	56,9	64,4
die Bruchlast	σ_B =	54,6	59,9	65,8
die Bruchdehnung für $l \cong 10\sqrt{f}$	=	9,5	9,7	[9,8] [1]).

Hiernach lieferte die nochmalige Prüfung des Materials der schon einmal zerrissenen Stäbe um so höhere Werthe für die Spannungsgrenzen, je länger die Stäbe bis zum erstmaligen Zerreißen im vorgestreckten Zustande gelagert hatten.

Um dies interessante Ergebniß nachzuprüfen, sollen auch die übrigen Stäbe aus Tab. 6 nochmals in vorbeschriebener Weise geprüft werden. Ueber das Ergebniß werde ich später berichten.

Die Stäbe 19, 21, 27 und 29 lieferten zu Reihe 3 höhere Spannungsgrenzen und geringere Bruchdehnung als zu Reihe 2. Die Eigenschaften des Materials dieser Stäbe waren also durch das erstmalige Zerreißen in noch stärkerem Grade aber in gleichem Sinne verändert wie durch das Vorstrecken in Reihe 1.

[1]) Nur eine Beobachtung vorliegend. Stäbe 29 und 31 rissen nahe der Endmarke.

Dieses Ergebniß konnte im Voraus erwartet werden, weil die Stäbe bei Reihe 1 nur um 3,2—14 % vorgestreckt waren, während das erstmalige Zerreißen (Reihe 2) Steigerung des Vorstreckens bis auf im Mittel 21 % bewirkt hatte.

Der Stab 31 war schon bei Reihe 1 innerhalb der ganzen Meßlänge um 22,4 % vorgestreckt worden. Nach dem erstmaligen Zerreißen betrug die Streckung des zu Reihe 3 verwendeten Stabtheiles im Mittel 25 % und für das Intervall, innerhalb dessen der zweite Bruch erfolgte, wieder 22 %. Trotzdem lieferte Reihe 3 auch bei diesem Stabe erheblich höhere Spannungsgrenzen als Reihe 2.

2. Versuche mit den geglühten Stäben.

Die ausgeglühten Stäbe lassen in Reihe 3 weder einen Einfluß der erstmaligen stärkeren Vorstreckung noch des längeren Lagerns zwischen Reihe 1 und 2 erkennen. Stellt man aber die Mittelwerthe für alle 9 vorgestreckten Stäbe den Mittelwerthen für die gleichzeitig geglühten aber nicht vorgestreckten Stäbe 114—115 gegenüber

Materialzustand:			a) vorgestreckt;	b) nicht vorgestreckt;
Proportionalitätsgrenze .	σ_P	=	17,0	21,8
Streckgrenze	σ_S	=	21,9	27,0
Bruchlast	σ_B	=	38,9	42,0
Bruchdehnung für $l \cong 10\sqrt{f}$		=	29,9	26,2

so ergiebt sich daß die vorgestreckten Stäbe geringere Spannungsgrenzen und etwas größere Dehnung zeigten als die nicht vorgestreckten.

C. Einfluß des Streckens bei höheren Wärmegraden.

I. Das Probematerial.

Das Probematerial zu den folgenden Untersuchungen lieferten die Bruchstücke von im Auftrage der Kaiserlichen Werft zu Wilhelmshaven bei Zimmerwärme, 100, 200, 300 und 400 C° auf Zugfestigkeit geprüften Stäben aus:

Schweißeisen,
Martinstahl,
Deltametall, gegossen,
„ gewalzt,
4 prozentiger Manganbronze,
15 „ „ und
Kupfer[1]).

Die Abmessungen der Stäbe bei der erstmaligen Prüfung zeigt Fig. 49. Von jedem Material waren bei den oben genannten 5 Wärmegraden drei Stäbe geprüft. Unter ihnen wurde stets derjenige Stab zu der nochmaligen Prüfung ausgewählt, bei dem der Bruch in geringster Entfernung vom Kopf erfolgt war. Dies geschah um möglichst lange Proben zur Verfügung zu haben. Lagen mehrere gleich lange Bruchstücke gleicher Art vor, so sind zunächst diejenigen mit größter Streckung verwendet. Später sollten auch die übrigen noch untersucht werden, um so Ergebnisse zu gewinnen, den Einfluß verschieden starken Streckens

[1]) Rudeloff: „Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften von Metallen." „Mittheilungen" 1893, S. 292.

bei den verschiedenen Wärmegraden beurtheilen zu können. Leider hat es bisher an Zeit gefehlt, die letztgenannten Stäbe ebenfalls zu untersuchen.

Vor der weiteren Bearbeitung wurde an Hand der Centimetertheilung, die zur erstmaligen Prüfung auf den Stäben angebracht war (s. Fig. 49) die Dehnung der Bruchstücke

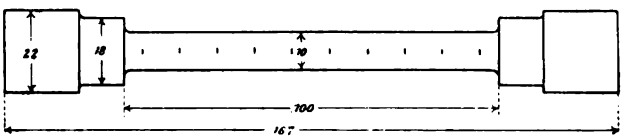


Fig. 49. Rundstab für Zugversuche bei höheren Wärmegraden.

Fig. 50. Rundstab für Zugversuche mit dem vorgestreckten Material.

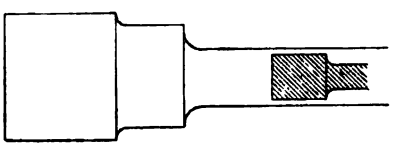


Fig. 51.

innerhalb jedes einzelnen Theilungsintervalles bestimmt. Ferner ist der Durchmesser des gleichmäßig gestreckten Theiles ermittelt. Die hierbei erhaltenen Ergebnisse führten dazu, den neuen Proben die aus Fig. 50 ersichtlichen Abmessungen zu geben. Die Stäbe wurden aus den Bruchstücken stets so entnommen, daß ihre eine Endfläche nach Maßgabe von Fig. 51 mit der Marke 1 der alten Centimetertheilung zusammenfiel.

II. Die Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse der Dehnungsmessungen an den Bruchstücken der vorgestreckten Proben sind in Tab. 20 zusammengestellt und nach ihnen die Schaulinien Fig. 52—58 verzeichnet. Die eingetragenen Kreise deuten die Lage des zweiten Bruches an, die kurzen senkrechten Striche die Endflächen der für die nochmalige Prüfung entnommenen kleinen Stäbchen. Aus dem wellenförmigen Verlauf der Schaulinien ergiebt sich, daß die Dehnung beim erstmaligen Zerreißen der Stäbe sich ungleichmäßig über die Meßlänge vertheilt und das Theilungsintervall Nr. 1 in Folge des Einflusses der Köpfe sich in der Regel am wenigsten gedehnt hatte. Der letztgenannte Einfluß konnte

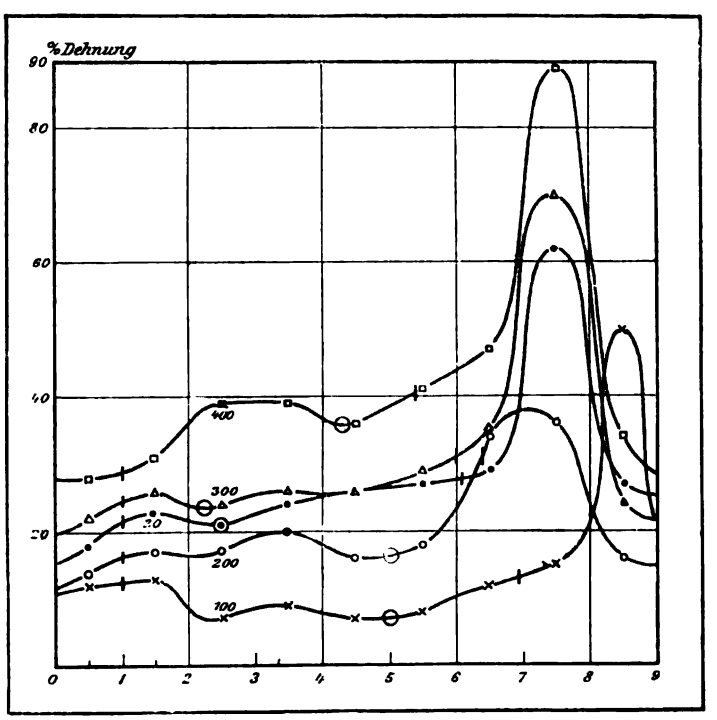


Fig. 52. Schweiß-Eisen.

Tabelle 20. Vertheilung der Dehnung beim erstmaligen

Material	Nr. der Probe	Längen in Millimeter nach dem ersten Bruch für die Theilungsintervalle 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Durchmesser mm
Schweißeisen	1	11,8	24,1	36,2	48,6	61,2	73,9	86,8	94,5 (8,5)	12,7	9,0
	7	11,2	22,5	33,2	44,1	54,8	65,6	76,8	88,3	95,2 (6,1)	9,5
	3 a	11,4	23,1	34,8	46,8	58,4	70,2	83,6	84,6 (12,6)	24,2	9,5
	14 a	12,2	24,8	37,2	49,8	62,4	75,3	88,8	98,8 (7,0)	19,4	9,0
	15	12,8	25,9	39,8	53,7	67,3	81,4	96,1	106,0 (9,0)	22,4	8,8
Martinstahl	26	11,8	24,3	36,8	49,2	61,8	74,2	87,2	98,4 (6,0)	19,0	9,0
	17	10,6	21,2	32,1	43,1	54,3	65,6	76,9	89,0 (2,1)	14,8	9,5
	23 a	11,2	22,7	34,2	45,8	57,6	69,0	80,6	90,0 (5,1)	16,6	9,5
	24	11,0	22,1	33,6	45,0	56,6	68,2	80,3	88,0 (7,9)	20,1	9,5
	30	11,9	24,1	36,9	49,5	61,9	74,9	90,0	93,5 (12,0)	25,0	9,0
Kupfer	36	10,2	20,8	32,0	43,3	54,7	65,4	77,1	82,0 (10,8)	21,7	9,5
	32	10,0	20,1	30,2	40,2	50,6	60,2 (5,1)	16,9	27,0	37,0	10,0
	33	10,0	20,3	30,8	41,0	53,0 B	13,7	23,9	34,0	44,0	10,0
	39	10,2	20,7	31,2	42,0	55,3 B	12,2	23,0	34,2	45,0	10,0
	45	10,1	20,4	30,9	41,0	51,8	62,1	72,9	83,3	97,0 (2,0)	10,0
Deltametall gewalzt	71	13,4	27,3	41,2	55,4	70,0 B	15,5	29,5	43,0	56,2	8,5
	62	13,0	26,9	41,3	55,9	70,5	86,2 B	14,8	29,0	42,3	8,5
	68	14,5	29,5	44,6	60,1	75,5	91,0	107,0	125,9 B	17,0	8,4
	64	12,0	24,9	38,2	32,1	66,8	82,1	98,4	116,8	127,5 (10,9)	8,5
	65	15,2	31,0	48,0	65,2	82,3	99,8	117,2	136,8	147,5 (12,1)	8,0
Deltametall gegossen	76	12,1	24,3	36,7	49,0	61,3	73,8	86,2	98,6	104,4 (7,0)	9,2
	87	13,5	27,3	41,3	55,4	69,6	83,3	93,0 (5,0)	18,5	32,3	9,0
	88	13,3	27,2	41,1	55,1	69,2	83,4	97,6	112,1 B	14,1	8,7
	84	14,0	18,8	43,9	59,5	75,3	88,4 (6,0)	23,8	40,8	56,0	8,0
	80	13,1	25,9	39,0	52,7	66,2	80,0	93,0 (1,8)	16,5	30,2	9,0
Manganbronze 4 %	51	13,7	27,2	40,6	54,0	67,8	81,0	96,9 B	15,0	27,8	8,5
	52	12,3	24,9	37,5	50,2	62,9	75,8	88,9	102,5 (4,5)	18,2	9,0
	48	12,2	24,8	37,7	50,3	63,2	76,3	89,7	101,5 (5,7)	18,7	9,0
	49	12,3	24,9	37,8	50,3	63,2	76,1	89,5	91,2 (13,8)	26,6	9,5
	60	11,8	23,8	35,8	47,5	59,3	71,3 B	11,4	23,4	35,3	9,5
Manganbronze 15 %	91	12,2	24,7	37,7	50,0	62,7	76,1	89,1	98,0 (7,5)	20,2	8,0
	98	12,8	26,7	40,0	53,3	67,8	71,0 (12,0)	24,8	38,0	50,5	8,0
	94	12,0	25,0	38,0	50,7	63,5	77,1	88,8 (2,0)	15,0	27,7	8,0
	95	11,9	23,6	35,7	48,2	61,3	74,3	87,6	100,9 (0,8)	15,0	8,0

Die Brüche lagen entweder innerhalb des Theilungsintervalls, für den oben zwei Längen angegeben sind, oder auf der des Bruches von der nach rechts gelegenen Endmarke des Intervalls.

Zerreißen (Vorstreckung) über die Länge des Stabes.

Material	Nr. der Probe	Dehnung in Millimeter nach dem ersten Bruch für die Theilungsintervalle									Bemerkungen
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Schweißeisen	1	1,8	2,3	2,1	2,4	2,6	2,7	2,9	6,2	2,7	
	7	1,2	1,3	0,7	0,9	0,7	0,8	1,2	1,5	5,0	
	3 a	1,4	1,7	1,7	2,0	1,6	1,8	3,4	3,6	1,6	
	14 a	2,2	2,6	2,4	2,6	2,6	2,9	3,5	7,0	2,4	
	15	2,8	3,1	3,9	3,9	3,6	4,1	4,7	8,9	3,4	
Martinstahl	26	1,8	2,5	2,5	2,4	2,6	2,4	3,0	7,2	3,0	
	17	0,6	0,6	0,9	1,0	1,2	1,3	1,3	4,2	2,7	
	23 a	1,2	1,5	1,5	1,6	1,8	1,4	1,6	4,5	1,5	
	24	1,0	1,1	1,5	1,4	1,6	1,6	2,1	5,6	2,2	
	30	1,9	2,2	2,8	2,6	2,4	3,0	5,1	5,5	3,0	
Kupfer	36	0,2	0,6	1,2	1,3	1,4	0,7	1,7	5,7	0,9	
	32	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4	4,7	1,8	0,1	0,0	
	33	0,0	0,3	0,5	0,2	2,0	3,7	0,2	0,1	0,0	
	39	0,2	0,5	0,5	0,8	3,3	2,2	0,8	0,8	0,8	
	45	0,1	0,3	0,5	0,1	0,8	0,3	0,8	0,4	5,7	
Deltametall gewalzt	71	3,4	3,9	3,9	4,2	4,6	5,5	4,0	3,5	3,2	
	62	3,0	3,9	4,4	4,6	4,6	5,7	4,8	4,2	3,3	
	68	4,5	5,0	5,1	5,5	5,4	5,5	6,0	8,9	7,0	
	64	2,0	2,9	3,3	3,9	4,7	5,3	6,3	8,4	11,6	
	65	5,2	5,8	7,0	7,2	7,1	7,5	7,4	9,6	12,8	
Deltametall gegossen	76	2,1	2,2	2,4	2,3	2,3	2,5	2,4	2,4	2,8	
	87	3,5	3,8	4,0	4,1	4,2	3,7	4,7	3,5	3,8	
	88	3,3	3,9	3,9	4,0	4,1	4,2	4,2	4,5	4,1	
	84	4,0	4,8	5,1	5,6	5,8	9,1	7,8	7,0	5,2	
	80	3,1	2,8	3,1	3,7	3,5	3,8	4,8	4,7	3,7	
Manganbronze 4 %	51	3,7	3,5	3,4	3,4	3,8	3,2	5,9	5,0	2,8	
	52	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,9	3,1	8,1	8,2	
	48	2,2	2,6	2,9	2,6	2,9	3,1	3,4	7,5	3,0	
	49	2,3	2,6	2,9	2,5	2,9	2,9	3,4	5,7	2,8	
	60	1,8	2,0	2,0	1,7	1,8	2,0	1,4	2,0	1,9	
Manganbronze 15 %	91	2,2	2,5	3,0	2,3	2,7	3,4	3,0	6,4	2,7	
	98	2,8	3,9	3,3	3,3	4,5	5,2	2,8	3,2	2,5	
	94	2,0	3,0	3,0	2,7	2,8	3,6	3,7	3,0	2,7	
	95	1,9	1,7	2,1	2,5	3,1	3,0	3,3	4,1	4,2	

durch B gekennzeichneten Grenze zwischen zwei Intervallen. Im ersteren Falle bedeuten die unteren Zahlenwerthe die Entfernung

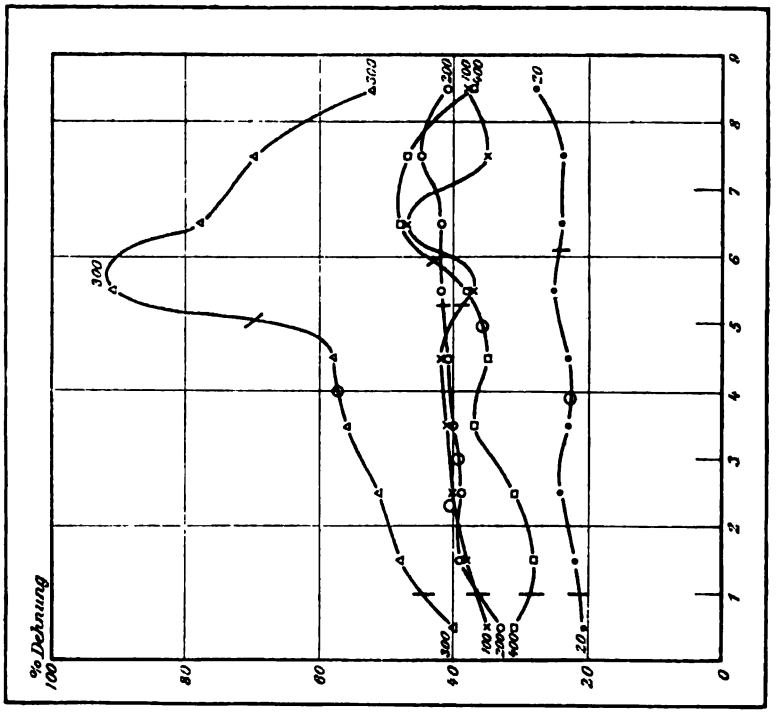


Fig. 54. Delta-Metall, gegossen.

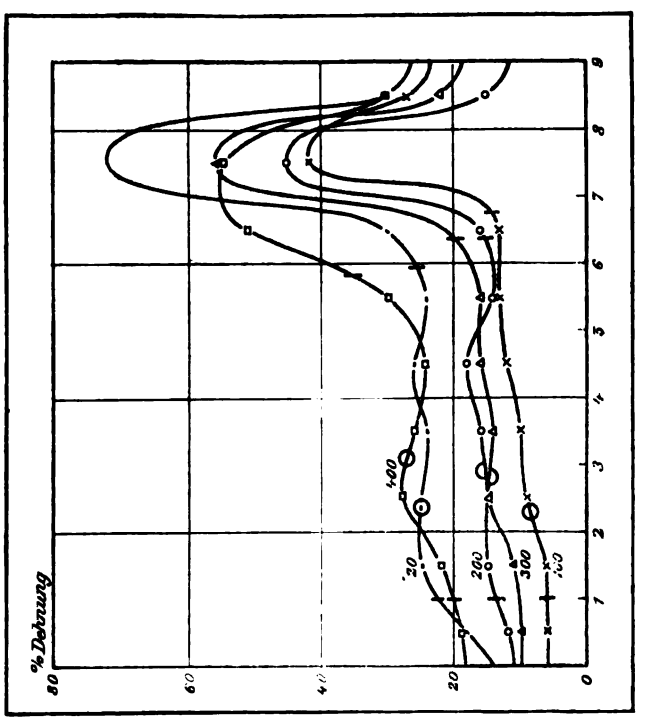


Fig. 53. Martin-Stahl.

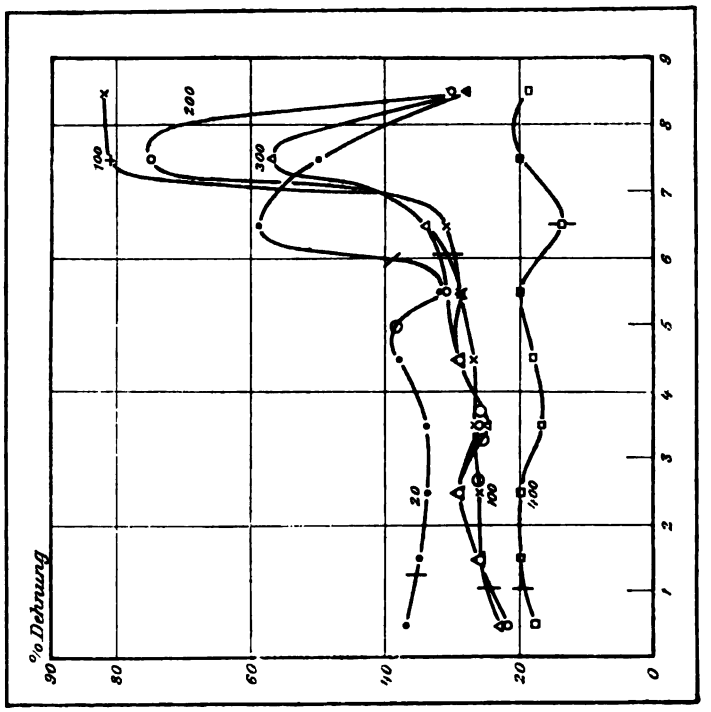


Fig. 56. 4%tige Manganbronze.

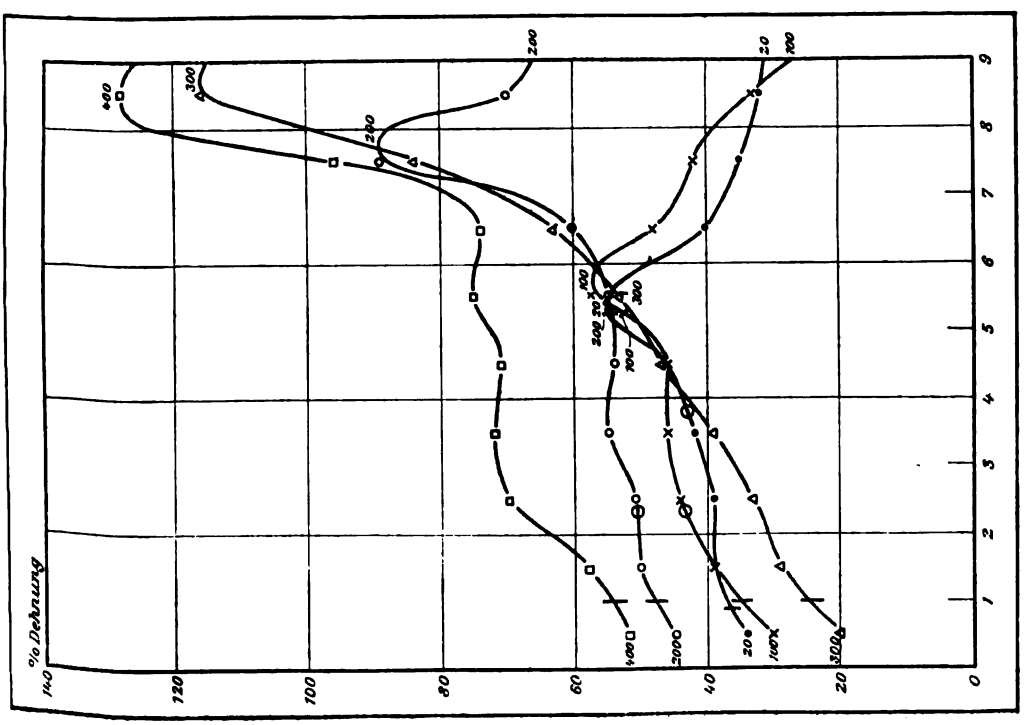


Fig. 55. Delta-Metall, gewalzt.

bei der zweiten Prüfung wegen der Art der Probenentnahme (s. Fig. 51) nicht ins Gewicht fallen; dagegen ergiebt sich aus der Lage der in die Schaulinien Fig. 52—58 eingezeichneten Kreise, daß die kleinen Stäbchen meistens dort rissen, wo das Material beim ersten Versuch am wenigsten gestreckt war. Bei den Abweichungen von dieser Regel liegen die Brüche häufig in der Nähe des Stabkopfes. Der Einfluß des letzteren hat dann wahrscheinlich den Einfluß des geringeren Vorstreckens überragt und die Ergebnisse dürften daher wohl zu dem Schluß berechtigen, daß die Festigkeit der untersuchten Materialien durch Strecken auch bei Wärmegraden bis zu 400 C° um so mehr gesteigert wurde, je größer das Strecken gewesen war.

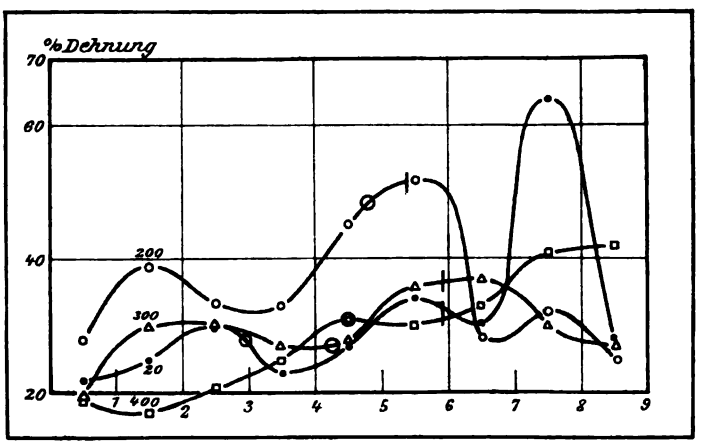


Fig. 57. 15%tige Manganbronze.

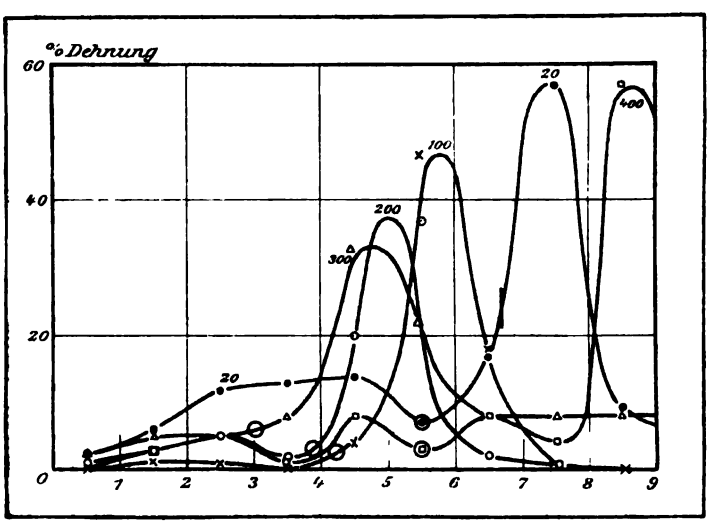


Fig. 58. Kupfer.

Der Einfluß des Vorstreckens bei verschiedenen Wärmegraden auf den Verlauf der Dehnung bis zur Streckgrenze ist aus Fig. 59 ohne Weiteres zu ersehen. Besondere Erörterung ist nicht erforderlich. Dagegen möge darauf hingewiesen sein, daß die Streckgrenze nur beim Schweißeisen, Martinstahl und bei der Mehrzahl der Proben aus Manganbronze scharf ausgeprägt ist. Die als Streckgrenze angesehenen Belastungen sind durch Kreise gekennzeichnet.

Die Schlußergebnisse der Zugversuche sind in Tab. 21 zusammengestellt. In der ersten wagerechten Reihe sind bei allen Materialien die Werthe für den Anlieferungszustand beigefügt. Zur besseren Uebersicht sind die Werthe für die Spannungsgrenzen in Fig. 60 und diejenigen für die Bruchdehnung in Fig. 61 durch Schaulinien dargestellt. Aus ihrem Verlauf ergiebt sich Folgendes:

Beim Schweißeisen und Martinstahl äußerte sich der Einfluß des Streckens in gleicher Weise. Die drei Spannungsgrenzen σ_P, σ_S und σ_B wurden gehoben und die Bruchdehnung wurde vermindert. Am größten wurden die Veränderungen aller vier Eigenschaften

durch Strecken bei 200 C° gefunden. (Nach den Ausgleichslinien, die in Fig. 60 und 61 nicht eingetragen sind, um die Uebersichtlichkeit nicht zu stören, scheint der größte Einfluß bei

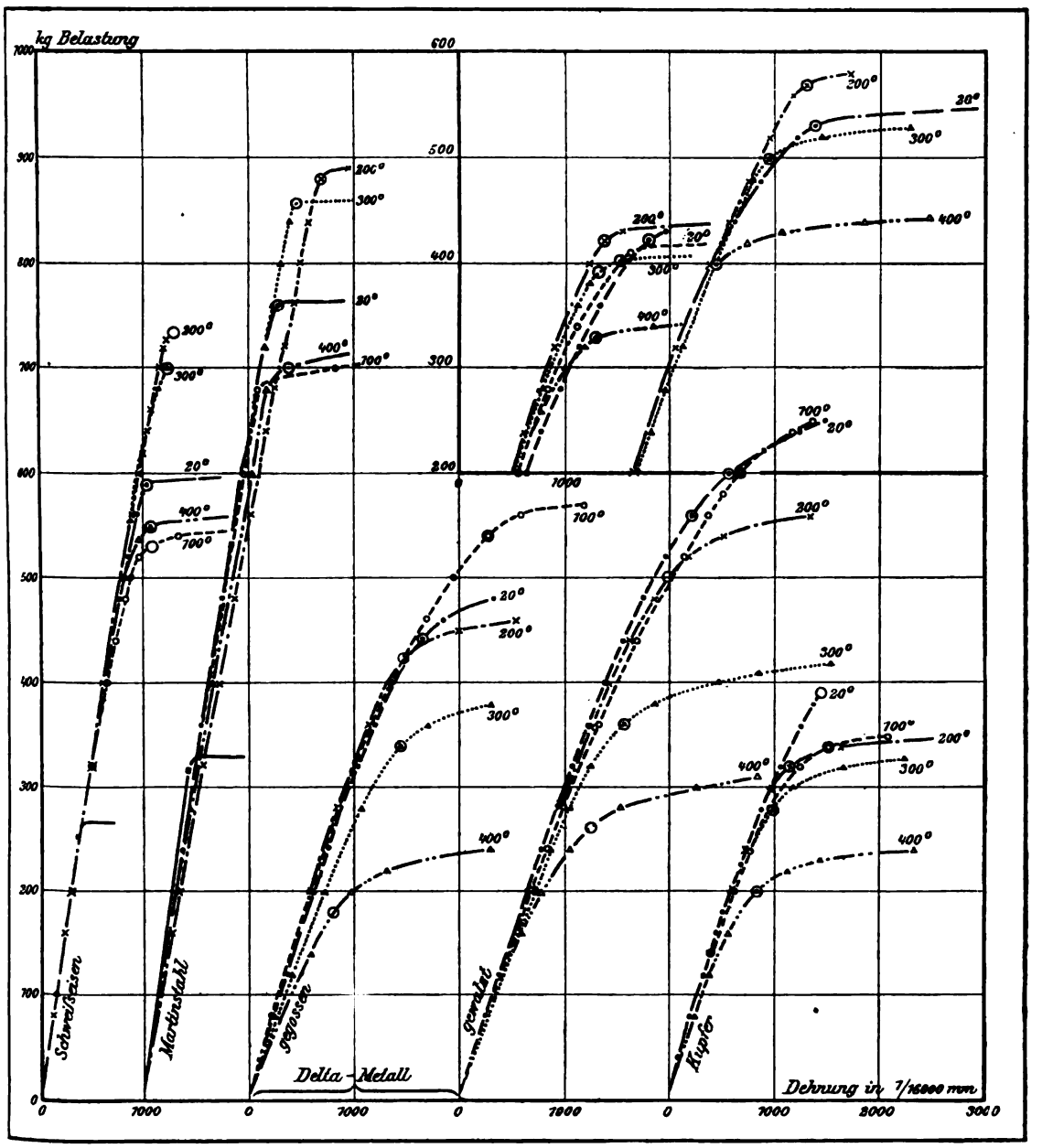


Fig. 59. Einfluß des Vorstreckens bei verschiedenen Wärmegraden auf den Verlauf der Dehnung.

Wärmegrade beim Vorstrecken: · —— · 20°; ○ — — — ○ 100°; × — · — × 200°; ▲ · · · · · ▲ 300°; △ — · · — △ 400°.

250 C° stattzufinden.) Bei 400 C° sind die Veränderungen etwa so groß wie bei Zimmerwärme, bei 100 C° aber auffallend geringer.

Tabelle 21. **Veränderung der Festigkeitseigenschaften durch Strecken bei verschiedenen Wärmegraden.**

Material		Stab Nr.	Zustand des Materials		Versuchsergebnisse: Dehnungszahl α mm·10^{-7}	Spannungen kg/qmm: P-Grenze σ_P	Streckgrenze σ_S	Bruchlast σ_B	Verhältnißwerthe: σ_P/σ_B %	σ_S/σ_B %	Bruchdehnung %
Schweißeisen		1. 6. 11	Anlieferung		486	[17,9]	20,3	35,3	51	58	30,3
		1	gestreckt bei C°	20	525	41,3	46,8	47,6	87	98	9,0
		7		100	513	22,2	42,1	45,6	49	92	12,5
		3		200	518	50,8	58,3	58,3	87	100	4,7
		14 a		300	505	47,6	55,6	56,0	85	99	6,0
		15		400	511	38,1	43,7	49,2	77	89	12,4
Martinstahl		16. 21. 26	Anlieferung		486	25,7	27,3	44,8	57	61	30,2
		26	gestreckt bei C°	20	500	54,0	60,2	60,6	89	99	6,5
		17		100	507	47,6	54,0	57,2	83	94	7,4
		23 a		200	[529]	[60,3]	69,8	70,2	[86]	99	5,3
		24		300	518	63,4	68,2	68,5	93	100	5,3
		30		400	526	31,7	55,6	61,4	52	91	12,4
Delta-Metall	gegossen	76. 81. 86	Anlieferung		1022	[4,7]	[9,7]	32,9	14	29	21,2
		76	gestreckt bei C°	20	1012	19,0	34,9	44,8	42	78	12,2
		87		100	981	15,9	42,9	48,0	33	90	(5,7)
		88		200	971	22,2	33,3	44,4	50	75	11,3
		84		300	1163	15,9	27,0	42,1	38	64	19,4
		80		400	1175	9,5	14,3	29,8	32	48	10,4
	gewalzt	61. 71	Anlieferung		1131	[8,9]	14,8	42,7	[21]	35	39,2
		71	gestreckt bei C°	20	1067	19,0	47,6	57,1	33	83	—
		62		100	1098	12,7	47,6	56,4	23	84	11,5
		68		200	1088	19,0	39,7	54,0	35	74	17,2
		64		300	1190	19,0	28,6	46,8	41	61	26,0
		65		400	1258	12,7	20,6	43,7	29	47	26,7
Manganbronze	4 % tig	46. 51. 56	Anlieferung		840	2,6	13,6	29,1	9	45	37,6
		51	gestreckt bei C°	20	—	—	33,3	34,5	—	96	(0,5)
		52		100	—	—	31,7	34,5	—	92	15,0
		48		200	840	12,7	33,3	34,9	36	95	6,9
		49		300	861	12,7	30,9	32,5	39	95	5,5
		60		400	—	—	26,2	32,5	—	81	> (16,0)
	15 % tig	91	Anlieferung		1062	7,7	[14,0]	35,7	22	39	30,9
		91	gestreckt bei C°	20	1040	22,2	42,0	44,4	50	95	6,9
		98		200	1092	[28,6]	45,2	46,4	61	98	> (1,5)
		94		300	1118	22,2	39,7	44,4	50	89	5,7
		95		400	1081	[19,0]	31,7	43,3	44	73	14,7
Kupfer		31. 36. 41	Anlieferung		833	3,4	26,9	29,1	11	93	14,9
		36	gestreckt bei C°	20	962	17,5	30,9	31,7	55	98	7,0
		32		100	920	6,3	27,0	28,6	22	94	14,0
		33		200	—	—	25,4	29,0	—	88	14,2
		39		300	—	—	22,2	29,0	—	77	19,4
		45		400	—	—	15,9	24,0	—	76	15,5

Beim Deltametall, und zwar ſowohl beim gegoſſenen als auch beim gewalzten Material verlief der Einfluß des Streckens auf die Spannung σ_P ähnlich wie beim Eiſen; die Höchſtwerthe wurden nach dem Strecken bei 200 C° gefunden und die Erhöhung von σ_P für das bei 100 C° geſtreckte Material war wieder auffallend gering.

Die Höchſtſpannungen für σ_S und σ_B ergaben ſich für das gegoſſene Deltametall nach dem Strecken bei 100 C°, für das gewalzte dagegen nach dem Strecken bei Zimmerwärme. Mit ſteigender Wärme nimmt der Einfluß des Streckens wieder ab. Das Strecken bei 400 C° ſcheint auf σ_S und σ_B keinen nennenswerthen Einfluß mehr auszuüben.

Die geringſten Bruchdehnungen ſcheinen mit den Höchſtwerthen für σ_S und σ_B zuſammenzufallen.

Die 4 prozentige Manganbronze zeigte nach dem Strecken bei Zimmerwärme, 100 und 400 C° überhaupt keine Proportionalität; für das bei 200 und 300 C° geſtreckte Material lag σ_P erheblich höher als im Anlieferungszuſtande. Für die Spannungen σ_S und σ_B wurden nach dem Strecken bei Zimmerwärme, 100 und 200 C° annähernd gleich hohe Werthe gefunden; mit wachſender Wärme nahmen ſie wieder um Weniges ab.

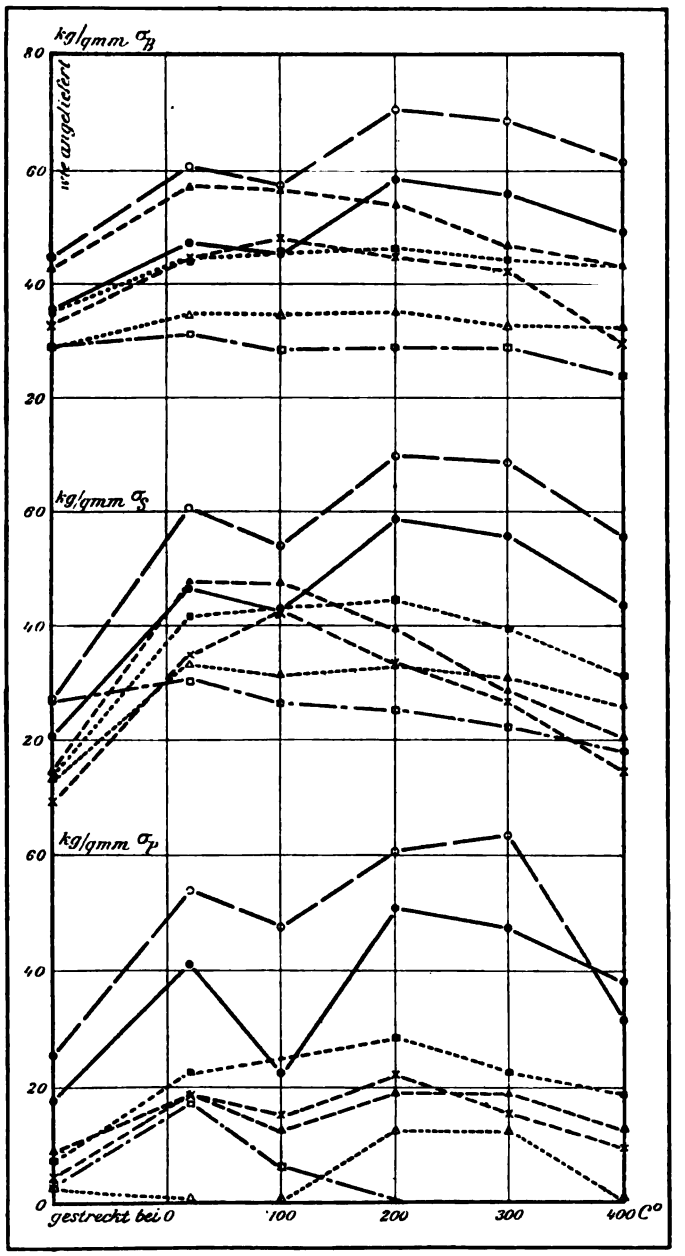


Fig. 60. Einfluß des Streckens bei verſchiedenen Wärmegraden auf die Spannungsgrenzen.

Material: Schweißeiſen; Martinſtahl; gegoſſen, gewalzt } Deltametall; 4 %, 15 % } Manganbronze; Kupfer.

Die geringste Bruchdehnung scheint das bei 300 C° gestreckte Material zu liefern.

Die 15prozentige Manganbronze zeigte die Höchstwerthe für die Spannungen σ_P, σ_S und σ_B und die geringste Bruchdehnung nach dem Strecken bei 200 C°.

Beim Kupfer wurden die höchsten Spannungen und die geringste Dehnung nach dem Strecken bei Zimmerwärme gefunden. Das Strecken bei 100 C° hatte nur σ_P noch erhöht, bei höheren Wärmegraden hatte es σ_P auf Null und auch σ_S und σ_B heruntergedrückt. Hierbei ist zu beachten, daß die im Anlieferungszustande erhaltenen Werthe ($\sigma_B = 29{,}1$ kg/qmm und Dehnung = 14,9 %) darauf hindeuten, daß das Material bereits ursprünglich kalt bearbeitet war.

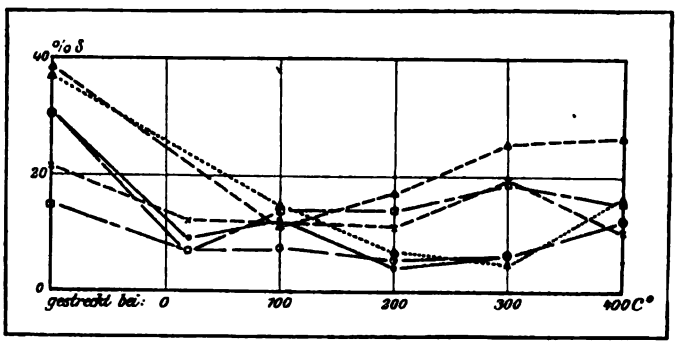


Fig. 61. Einfluß des Streckens bei verschiedenen Wärmegraden auf die Bruchdehnung.

Nach älteren Versuchen[1]) pflegt der Einfluß des Kaltbearbeitens durch Glühen bei 300 bis 400 C° wieder vollständig beseitigt zu werden und die Festigkeit des Kupfers dann etwa 22 kg/qmm zu betragen bei über 30 %-Dehnung. Bei der vorliegenden Versuchsreihe betrug für das bei 400 C° gestreckte Kupfer $\sigma_B = 24{,}0$ kg/qmm und die Dehnung 15,5 %. Die Abweichung dieser Werthe von den vorgenannten Mittelwerthen für geglühtes Material deuten darauf hin, daß der Einfluß des Streckens bei 400 C° auch beim Kupfer größer ist als der des Erwärmens auf 400 C°.

[1]) A. Martens: „Bericht über die Ergebnisse von Vorversuchen über die Festigkeitseigenschaften von Kupfer." „Mittheilungen" 1894, S. 62.

Für die Redaktion verantwortlich: A. Martens. — Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY.
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

Sechzehnter Jahrgang. 1898. — Mit 8 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. Heft. **Gary.** Ueber die Ursachen der Abweichungen in den Festigkeits-Ergebnissen der Cementprüfung an verschiedenen Orten. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: Zeitungsdruckpapiere.

2. Heft. **Prof. Martens.** Prüfung eines Drahtseiles von 90 mm Durchmesser auf Zugfestigkeit. — **Gary.** Prüfung der Hammerapparate, Bauart Böhme. — **Dr. Holde** und **Dr. Allen.** Die quantitative Bestimmung des Paraffins in Destillaten des Rohpetroleums und des Braunkohlentheers. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: 1. Verwendbarkeit verwitterter Gesteine zu Bauzwecken. 2. Prüfung von Trottoirplatten auf Haftvermögen.

3. Heft. Bekanntmachung. **Gary.** Normalsande. — **Herzberg.** Die Schäfferschen Papierversuche. — **Prof. Martens** und **Dr. Holde.** Die Flammpunktsbestimmung von hochsiedenden Erdöldestillaten.

4. Heft. **Prof. Rudeloff.** Ueber den Einfluß der Wärme, chemischen Zusammensetzung und mechanischen Bearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Kupfer. — Vergleichende Betrachtungen über einige Ergebnisse von Versuchen mit Garnen und Seilen aus Hanf. Von **Prof. B. Kirsch** in Wien („Mittheilungen des Technologischen Gewerbemuseums" 1898) nebst Entgegnung von **Prof. M. Rudeloff.** — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: 1. Ausbildung im Papierprüfen. 2. Hektographenpapier.

5. Heft. **Gary.** Prüfung natürlicher Gesteine in den Betriebsjahren 1895,96 bis 1897/98. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: 1. Holzfreies Papier. 2. Tauenpapier.

6. Heft. Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1897/98. — **Heyn.** Mikroskopische Untersuchungen an tiefgeätzten Eisenschliffen. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: Thon als Dichtungsmaterial.

Siebzehnter Jahrgang. 1899. — Mit 3 Tafeln und Abbildungen im Text. Preis M. 12,—.

Inhalt:

1. u. 2. Heft. Bekanntmachung. — Erklärung. — **Gary.** Prüfung von Schornsteinmauerwerk. — **Herzberg.** Normalpapiere. — **Dr. Holde.** Die neuen Anleitungen zur Untersuchung der Mineralöle und des Ceresins für die zollamtliche Abfertigung. — **Gary.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Baumaterialprüfung: a. Ungeeignete Ziegel im Bau. b Treibwirkungen in einer Kunststeinmasse c. Ostafrikanische Gesteine. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a Einfluß höherer Wärmegrade auf die Festigkeitseigenschaften von Papier b. Widerstand gegen Zerknittern. c. Packpapierprüfung. — **Dr. Holde.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Oelprüfung: a. Die Bestimmung des Flüssigkeitsgrades nach Engler. b. Vorschläge für einheitliche Angaben und Prüfung des specifischen Gewichtes von Schmierölen. c. Vorschläge für eine einheitliche Benennung der leichtsiedenden Theile des Rohpetroleum. d. Die Feuergefährlichkeit von Petroleumbenzinen und Putzölen (In Gemeinschaft mit Pelgry).

3. Heft. **Prof. Martens** und **Heyn.** Ueber die Mikrophotographie im auffallenden Licht und über die mikrophotographischen Einrichtungen der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg. — **Prof. Dr. Finkener.** Ueber die Feststellung der Temperatur, bei der Ceresin und Paraffin ihren Aggregatzustand ändern. — **Dr. Holde.** Die neuen Anleitungen zur Untersuchung der Mineralöle und des Ceresins für die zollamtliche Abfertigung (Fortsetzung). — **Prof. Rudeloff.** Prüfung von Gummischläuchen für Dampfheizungskuppelungen an Eisenbahnwagen. — **Gary.** Probebelastung von Decken. — **Herzberg.** Kleine Mittheilungen aus der Abtheilung für Papierprüfung: a. Lieferung nach Probe. b. Manila-Packpapier.

4. Heft. **Gary.** Ziegelprüfungen in den Betriebsjahren 1895–1897. — **Prof. Rudeloff.** Der heutige Stand der Holzuntersuchungen und die Vereinheitlichung der Prüfungsverfahren. — Bekanntmachung.

5. Heft. Bekanntmachung. — **Prof. Rudeloff.** Untersuchungen über den Einfluß des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. Theil II. — **Herzberg.** Normalpapiere. — **Herzberg.** Die Schäffer'schen Papierversuche.

6. Heft. Bekanntmachung. — Bericht über die Thätigkeit der Königlichen technischen Versuchsanstalten im Etatsjahre 1898/99 — **Herzberg.** Falzverlust und Widerstand gegen Zerknittern und Reiben — **Herzberg.** Einfluß des Bedruckens auf die Festigkeitseigenschaften von Papier. — **Burchartz.** Linoleum. — Ergänzungshefte der „Mittheilungen".

Von den im Anschluß an die „**Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten**“ zur Ausgabe gelangenden **Ergänzungsheften** sind erschienen:

1887.

Heft I. **Die Festigkeitseigenschaften des Magnesiums.** Von A. Martens. Mit 3 Taf. Preis M. 4,—.

Heft II. **Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.** Von A. Martens. Preis M. 2,—.

Heft III. 1. **Mikroskopische Untersuchung des Papiers.** Von W. Herzberg. Mit 2 Lichtdrucktafeln. — 2. **Ergebnisse der Prüfungen von Apparaten zur Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Papier.** Von A. Martens. Mit 1 Tafel. Preis M. 5,—.

Heft IV. **Ueber Druckpapiere der Gegenwart.** Von A. Martens. Preis M. 1,—.

1888.

Heft I. Ergänzungen zu den im 2. Ergänzungshefte 1887 veröffentlichten **Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.** 1. **Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes von Metalldrähten.** Von Prof. A. Paalzow. Mit 1 Tafel. — 2. **Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Kleingefüge einerseits und der Leitungsgüte des Telegraphendrahtes andrerseits.** Von Dr. H. Wedding. Mit 7 Tafeln. Preis M. 6,—.

Heft II. **Bericht über die Ergebnisse von Festigkeitsversuchen mit gelötheten Drahtseilen und Drähten.** Von A. Martens. Mit 2 Tafeln. Preis M. 8,—.

Heft III. **Schmieröluntersuchungen.** Von A. Martens. Mit 4 Tafeln. Preis M. 6,—.

Heft IV. **Untersuchung japanischer Papiere.** Von A. Martens. Mit 3 Tafeln. Preis M. 5,—.

Heft V. **Bericht** über die im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe ausgeführten vergleichenden Untersuchungen von **Seilverbindungen für Fahrstuhlbetrieb.** Theil I. Ergebniß der Untersuchungen für ruhende Belastung. Von A. Martens. Preis M. 2,60.

1889.

Heft I. **Resultate der Untersuchungen des in der Eifel vorkommenden vulkanischen Sandes in Bezug auf seine Verwendbarkeit zur Mörtelbereitung.** Von Dr. Böhme. Mit 2 Tafeln. Preis M. 3,—.

Heft II. **Untersuchungen von natürlichen Gesteinen auf Festigkeit, specifisches Gewicht, Härtegrad, Wasseraufnahme, Cohäsionsbeschaffenheit und Wetterbeständigkeit.** Von Dr. Böhme. Mit 1 Tafel. Preis M. 4,—.

Heft III. **Bericht** über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirthschaft, Domänen und Forsten ausgeführten **Holzuntersuchungen.** Von M. Rudeloff. Mit 2 Tafeln. Preis M. 7,—.

Heft IV. **Festigkeitsuntersuchungen mit Zinkblechen der schlesischen Aktien-Gesellschaft für Bergbau- und Zinkhüttenbetrieb zu Lipine O.-S.** Von A. Martens. Mit 2 Tafeln. Preis M. 4,—.

Heft V. **Schmierölunterſuchungen.** Von A. Martens. (Fortsetzung zum Ergänzungsheft III. 1888.) Mit 1 Tafel. Preis M. 10,—.

1890.

Heft I. **Versuche über die Beiz- und Rostsprödigkeit des Eisens und Stahls.** Bericht des Professors A. Ledebur in Freiburg nebst den Versuchsergebnissen der mechan.-techn. Versuchsanstalt. Preis M. 3,—.

Heft II. **Untersuchungen mit Eisenbahnmaterialien,** ausgeführt im Auftrage des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten. Von Professor A. Martens. Mit 5 Tafeln. Preis M. 30,—.

1895.

Heft I. **Bericht über vergleichende Schmierölunterſuchungen,** ausgeführt in den Jahren 1889—1894. Von Dr. D. Holde. Preis M. 5,—.

1896.

Heft I. **Mittheilungen aus dem officiellen Bericht der im französischen Ministerium der öffentlichen Arbeiten gebildeten Commission des Méthodes d'Essai des Matériaux de Construction.** 1. Sitzungsperiode (1894). Band I Allgemeine Grundlagen. Uebersetzt vom Assistenten Paul Zizmann. Preis M. 2,60.

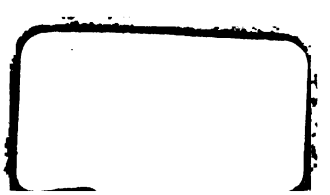
1899.

Heft I. **Bericht über die Raumbeständigkeit von zehn Portlandcementen,** nach Versuchen der Königl. mechan.-techn. Versuchsanstalt und der Kommission des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten erstattet von M. Gary. Mit 2 Tafeln. Preis M. 4,—.

1900.

Heft I. **Bericht über das Verhalten hydraulischer Bindemittel im Seewasser,** nach Versuchen der Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin im Auftrage der von dem Königlichen Ministerium der öffentlichen Arbeiten zu Berlin berufenen Kommission, erstattet von M. Gary. Mit 3 Tafeln. Preis M. 3,—.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
REFERENCE DEPARTMENT

This book is under no circumstances to be taken from the Building